المجلس الأعلى للثقافة

المشروع القومي للترجمة

فرانسيس كريك

يا له من سباق محموم

وجهة نظر شخصية حول اكتشاف علمى

545

ترجمة : عزت عامر

المشروع القومى للترجمة

يا لهُ من سباق محموم !

وجهة نظر شخصية حول اكتشاف علمى

تأليـف : فرانسيس كريك

ترجمـة : عزت عـــامر



٢٠٠٣

المشروع القومى للترجمة

إشراف : جابر عصفور

- العدد : ٥٤٥
- يا له من سباق محموم
- فرانسيس كريك
- عزت عـــامر
- الطبعة الأولى : ٢٠٠٣

هذه ترجمة كاملة لكتاب :

What Mad Pursuit

A Personal View

of Scientific Discovery

تأليف : **FRANCIS CRICK**

الناشر : **PENGUIN BOOKS**

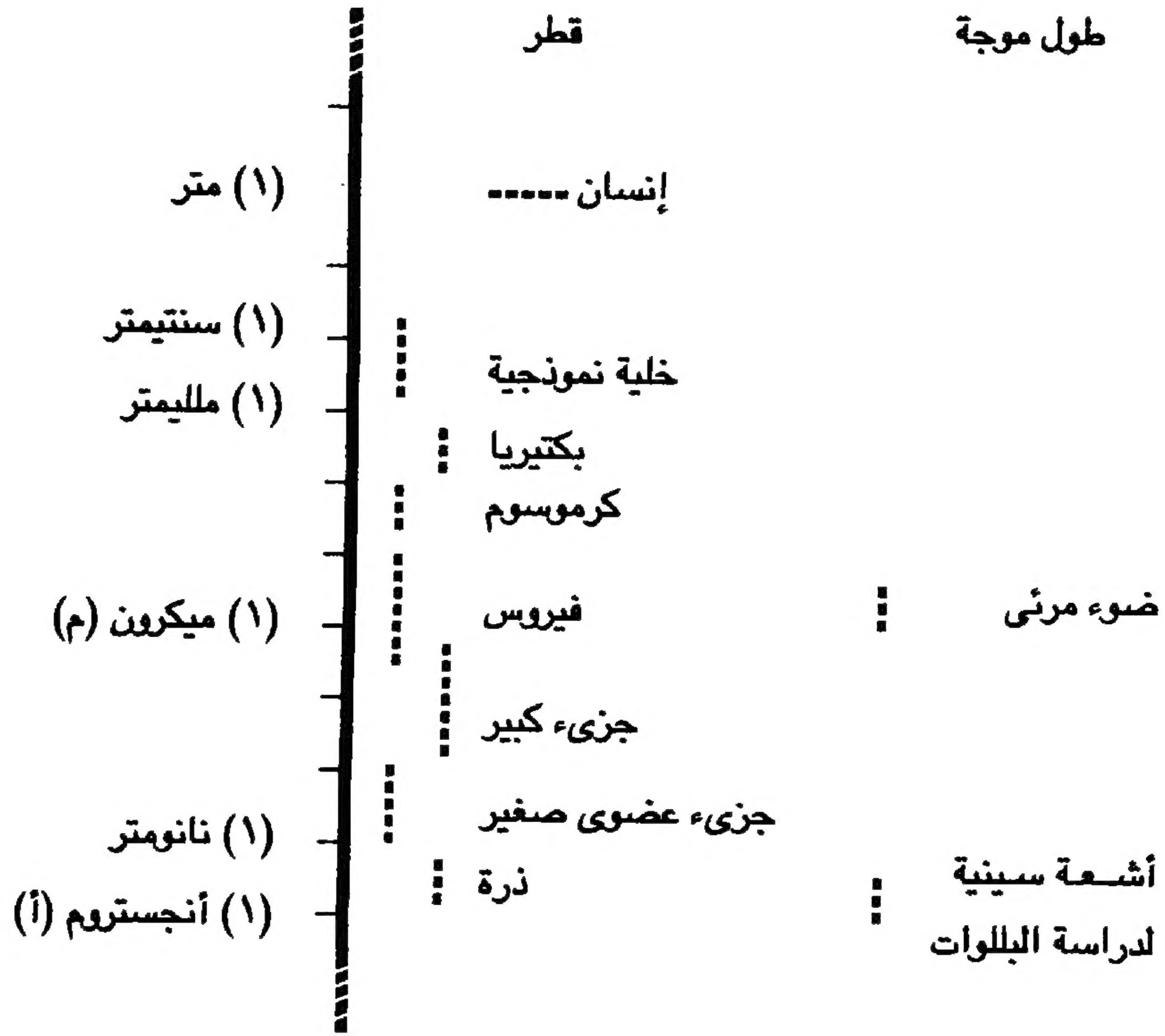
1990

شارع الجبلاية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St., Opera House, El Gezira, Cairo

Tel : 7352396 Fax : 7358084

المحتويات



فى الصدارة

لتوضيع الحجم التقريبى للأشياء المختلفة ، من الجزيئات حتى الإنسان . لاحظ أن كل خطوة على المقياس هى عامل مضروب فى عشرة .

مقدمة

الهدف الأساسى لكتابى هذا عرض بعض خبراتى قبل وخلال المرحلة الكلاسيكية للبيولوجيا الجزيئية، التى تمتد من اكتشاف اللولب المزدوج للدنا فى ١٩٥٣ حتى نحو ١٩٦٦ عندما تم أخيرا تفسير الشفرة الوراثية، القاموس الرابط بين لغة الحامض النووى ولغة البروتين. وكجزء تمهيدى وضعت مقدمة قصيرة تحدد بعض تفاصيل نشأتى وتعليمى ، تتضمن تعليمى الدينى المبكر، يتبعها توضيح لكيفية اتخاذى قرارا (بعد الحرب العالمية الثانية) بنوع الفرع العلمى الذى علىّ أن أدرسه، باستخدام "اختبار" يساعدنى على ذلك. وأوردت أيضا خاتمة تصف - بشكل عام - ما كنت أفعله منذ ١٩٦٦

ويوجد فارق مهم بين العمل العلمى الموضح فى الجزء الرئيسى من الكتاب وما تم التعبير الخاطف عنه فى الخاتمة ؛ ففى الحالة الأولى عرفنا بثقة معقولة ما هى الإجابات الصحيحة (وكانت مشكلة طى البروتين استثناءً). وفى الخاتمة لم نكن نعرف بعد كيف ستنقلب الأشياء (وكان الاستثناء هنا هو اللولب المزدوج). ولهذا السبب كان كثير من ملاحظاتى فى الخاتمة مجرد رأى. وتمت تعليقاتى فى الجزء الرئيسى من الكتاب بمسئولية أكثر نسبيا. ومن أكثر الملامح اللافتة للنظر فى العلم الحديث أنه يتحرك غالبا بسرعة كبيرة حتى إن الباحث يمكنه أن يرى - بشكل أوضح - ما إذا كانت أفكاره المبكرة، أو أفكار معاصريه، صحيحة أو غير صحيحة. وفى الماضى، لم تكن هذه الميزة متاحة بهذه الدرجة، ولا خلال الأيام الراهنة فى المجالات التى تتطور ببطء .

ولم أحاول أن أقدم عرضا شاملا لإنجازاتى العلمية خلال هذه السنوات المثيرة، دون ذكر للعمل الذى أنجزه الآخرون. ومثال لذلك، ذكرت القليل - أو لم أذكر شيئا - عن أفكار جيم واطسون وأفكارى حول بنية الفيروس، ولا عن تعاونى مع ألكس ريتش فى عدد من التركيبات الجزيئية. وبديلا عن ذلك قدمت فقط هذه السلسلة من الأحداث

التى بدت لى مثيرة بشىء من الاهتمام العام أو تقديم بعض الدروس العامة حول طريقة إجراء البحث والأخطاء التى يجب تجنبها، خاصة تلك الأخطاء الأكثر ارتباطا بالبيولوجيا. وللوصول إلى ذلك الهدف كان علىّ أن أمعن النظر فى الأخطاء أكثر من النجاحات.

فى ١٩٤٧، وكان عمرى واحد وثلاثين عاما، ذهبت إلى كمبريدج. وبعد نحو عامين من العمل فى مختبر سترانجيوايس (مختبر زراعة النسيج) انتقلت إلى كافندش، مختبر الفيزياء. وهناك أصبحت طالب دراسات عليا من جديد، محاولا تعلم شىء عن تركيب البروتينات فى الأبعاد الثلاثة بدراسة نماذج انحراف الأشعة السينية الناجم عن بللورات البروتين. وحدث عندئذ أن عرفت للمرة الأولى كيفية إجراء هذا البحث ، وحدث خلال هذه الفترة، وكنت ما أزال طالبا فى الدراسات العليا، أن قدمت مع جيم واطسون بنية اللولب المزدوج للدنا.

وكان من الصعب أن أكتب أى شىء جديد تماما حول الأحداث التى أدت إلى اكتشاف اللولب المزدوج ؛ حيث كان ذلك قد أصبح موضوعا لعدد من الكتب والأفلام. ورأيت ما هو أفضل من تكرار مثل هذه الموضوعات الشائعة من جديد، ألا وهو التعليق على جوانب متنوعة من الاكتشاف ، وعلى فيلم "بى.بى.سى" الأخير "قصة حياة"، الذى يعالج قصة الاكتشاف. وبنفس الطريقة لم أوضح بشكل كامل كيفية اكتشاف الشفرة الوراثية ؛ حيث إن ذلك مذكور بشكل مختصر فى أغلب الكتب المدرسية الحديثة. وبديلا عن ذلك أسهبت بشكل أساسى فى مسار الطرق النظرية؛ حيث أعتقد أن قليلين قد أدركوا على نحو صحيح كيف كان الفشل يهدد كل هذا العمل النظرى فى الشفرة الوراثية.

وحيث إننى مهتم بالأفكار أكثر من اهتمامى بالناس، لم أضع وصفا تفصيليا لشخصيات أصدقائى وزملائى، والسبب الرئيسى فى ذلك عدم رغبتى فى الكتابة بصراحة عن علاقاتى الشخصية الحميمة بأشخاص مازالوا أحياء. وفى المقابل نثرت عبر النص عددا من الحكايات القصيرة لأعطى على الأقل لمحات سريعة حول طبيعة العلماء، ولتكون قراءة الكتاب أكثر سهولة. وقليلون هم الذين يتحملون عن طيب خاطر الخوض فى جدل عقلى متصل يستغرق كتابا كاملا، إلا إذا كانو مهتمين فعلا

بالموضوع ، أى أن هدفى الأساسى تقديم بضعة أفكار وتمحيصات آملا أن يكون ذلك أمرا ممتعا.

وكتبت إلى كل من زملائى العلماء وجمهور القراء، لكنى أعتقد أن الشخص العادى يمكنه أن يفهم أغلب ما أناقشه فى هذا الكتاب. وقد يأخذ عرض الأفكار شكلا تقنيا فى بعض الأحيان، لكنه حتى فى هذه الحالات أعتقد أنه يسهل تماما إدراك الاتجاه العام للفكرة. وأوردت أحيانا ملحوظات قصيرة بين أقواس عن وجهات نظر أكثر تطورا. ولمساعدة من ليس لديهم معلومات كافية فى مجال البيولوجيا الجزيئية، وضعت فى المقدمة شكلا يوضح الأحجام التقريبية للجزيئات ، الكروموزومات، الخلايا، ... إلخ، إضافة إلى ملحقين: يقدم الأول ملخصا عاما لمبادئ البيولوجيا الجزيئية ، ويوضح الثانى تفاصيل الشفرة الوراثية ، وحيث إن أغلب الناس (باستثناء علماء الكيمياء) لا يحبون الصيغ الكيميائية، أبعدت أغلب هذه الصيغ إلى الملحق الأول.

ورغم كل جهودى التوضيحية، قد يجد الشخص العادى صعوبة ما فى فهم أجزاء من الفصول ٤، ٥، و ١٢ عندما يشرع فى القراءة الأولى.

ونصيحتى للقارئ - إذا وجد نفسه متوقفا أمام مثل هذه الصفحات - أن يثابر على الفهم أو يتخطاها إلى الفصل التالى ، وأغلب الكتاب سهل تماما ، ولا تفقد الأمل لمجرد صعوبة متابعة بضع فقرات.

وأهم ما فى هذا الكتاب الانتخاب الطبيعى. وكما أوضح دائما، أن هذه الآلية الأساسية هى التى تجعل البيولوجيا مختلفة عن كل العلوم الأخرى ، ويمكن بالطبع أن يفهم أى شخص هذه الآلية فى حد ذاتها، ومع ذلك لا يفهمها عادة سوى القليل من الناس ، لكن الأكثر إثارة للدهشة، "نتائج" هذه العملية التى تؤثر على بلايين الأجيال. وما لا يمكن توقعه هو الصفة العامة للكائنات الحية. ويعتمد الانتخاب الطبيعى - فى أغلب الحالات على ما سبق حدوثه، فتكون النتيجة إعاقة عملية أساسية بسيطة بواسطة عناصر ثانوية. كما أوضح فرانسوا جاكوب بذكاء، "التطور سمكرى". ويصبح من الصعب توضيح النظم البيولوجية بسبب التعقد الناتج من عملية التطور؛ لذلك فإن البيولوجيا مختلفة تماما عن الفيزياء. ويمكن التعبير عن القوانين الأساسية للفيزياء

فى صيغ رياضية تماما، وقد تكون هى نفسها فى الكون كله ، لكن "قوانين" البيولوجيا، بالعكس، تكون فى الغالب مجرد تعميمات واسعة ؛ حيث إنها تصف أكثر من كونها تدرس - بشكل محكم - الآليات الكيماوية التى تطورت فى الانتخاب الطبيعى خلال بلايين السنين .

وينتج الاستنساخ البيولوجى، وهو عنصر أساسى إلى حد بعيد فى الانتخاب الطبيعى، نسخا كثيرة متطابقة لتشكيلة لانهائية تقريبا من الجزيئات الكيميائية المعقدة. ولا يوجد ما يشبه ذلك فى الفيزياء ولا ما يرتبط بها من نظم منضبطة. وقد يكون ذلك أحد الأسباب التى تجعل النظم البيولوجية تبدو لبعض الناس مستبعدة الحدوث تماما .

كل هذه الأمور تجعل من الصعب على عالم الفيزياء أن يسهم فى البحث البيولوجى. وتعتبر الأناقة والبساطة البالغة، التى تتصف بها غالبا الصيغ الرياضية المجردة، وسائل إرشادية مفيدة فى الفيزياء، لكن هذه الأدوات العقلية قد تكون مضللة تماما فى مجال البيولوجيا. ولهذا السبب يكون على واضع النظريات فى البيولوجيا الاستعانة بمزيد من عناصر الإرشاد من الدلائل التجريبية (مهما كانت غامضة ومشوشة) أكثر بكثير من حاجة الباحث فى مجال الفيزياء ، وتتم مناقشة هذا الموضوع بتفصيل أكثر فى فصل ١٤ "خاتمة".

وأنا نفسى كنت أعرف القليل عن البيولوجيا، إلا إذا كان الأمر يتعلق أكثر بالعموميات، حتى بلغت سن ثلاثين عاما ؛ حيث كانت أول درجة علمية أحصل عليها فى الفيزياء ، واحتجت إلى بعض الوقت لأتأقلم مع طريقة التفكير المختلفة نسبيا التى تحتاجها البيولوجيا. وبدا الأمر كما لو كان على الإنسان أن يولد من جديد. ولم يعد مثل هذا الانتقال بهذه الصعوبة ، وهو بالتأكيد يستحق الجهد المبذول فيه. ولبحث الكيفية التى سلكها تطورى فى مهنتى، بدأت أولا بعرض سريع لسنوات عمرى المبكرة.

الفصل الأول

تمهيد : سنواتى المبكرة

ولدت عام ١٩١٦، فى منتصف الحرب العالمية الأولى ، وكان والداى هارى كريك وإلزابيث كريك (ويلكينس) من الطبقة المتوسطة ، يعيشان بالقرب من مدينة نورثامبتون، فى إنجليش ميدلاندز. وكانت الصناعة الرئيسية فى نورثامبتون فى تلك الأيام تدور حول الجلود وصناعة الأحذية، حتى إن فريق كرة القدم المحلى كان يحمل اسم كوبلرز (الإسكافيون). وكان أبى، ومعه أخوه الأكبر، والتر، يديران مصنعا، أسسة أبوهما، لإنتاج الأحذية مرتفعة الساق (بوت) والأحذية العادية.

كان مولدى فى منزلنا، عرفت ذلك بسبب حادث غريب ارتبط بمولدى ؛ فرغم أن أمى لم تكن من المتحمسين بشدة للخرافات، كانت تحب ممارسة بعض العادات الخرافية اللطيفة ؛ حيث ترتب أحيانا مع كل عام جديد أن يكون أول شخص يعبر عتبة بيتنا أسود الشعر وليس أشقرا ، ويطلق على هذه العادة، التى لا أعرف هل مازالت تمارس أو لا، "أول قدم" ، ويتوقع الجميع أن تجلب حسن الحظ مع العام التالى. وبعد مولدى طلبت من أختها الأصغر، إثيل، أن تحملنى إلى سطح المنزل. وكان أمل أمى أن تؤدى هذه الطقوس الموجزة إلى التأكيد على إمكانية "صعودى إلى القمة" فى حياتى المقبلة. وتكشف أغلب العادات الخرافية الكثير عن ممارسيها أكثر مما يعتقدون، وكانت هذه الأسطورة العائلية تُظهر بشكل كاف أن أمى، مثلها مثل كثير من الأمهات الأخريات، ممتلئة بالطموحات بالنسبة لأول مواليدها الأولاد حتى قبل أن تملك أية معرفة ولو طفيفة بشخصيتى وقدراتى.

لا أتذكر سوى القليل عن سنوات حياتي المبكرة جدا ، حتى إننى لا أذكر كيف تعلمت القراءة بواسطة خالتى إثيل، التى كانت مُدرسة. وأبدو فى الصور الفوتوغرافية طفلاً عاديًا جدا. وكانت أمى شغوفة بالقول إننى كنت أشبه رئيسا للأساقفة. ولست واثقا أنها رأت يوما رئيسا للأساقفة ، لم تكن كاثوليكية أو عضوا فى الكنسية الإنجليزية ، لكنها قد تكون رأت صورة لرئيس أساقفة فى صحيفة. ومن الصعب التصديق أننى كنت فى سن الرابعة أو الخامسة أشبه مثل هذه الشخصية المهيبة. وأظن أنها كانت تعنى، وهو ما لم تستطع البوح به، أنها ترانى أشبه الملاك - شعر بالغ الجمال، عيون زرقاء، تعبير "ملائكى" عن حب شديد لعمل الخير - وربما أكثر من ذلك أحيانا. ولدى أوديل (زوجتى الحالية) علبة تذكارات، هدية من أمى، تعود إلى هذه الفترة من عمرى ، وتحتوى على صورتين فوتوغرافيتين صغيرتين مستديرتين ملونتين، إحداهما لأخى الأصغر، تونى، والأخرى لى. وعلقت مرة أمام زوجتى، أنه من النظرة الظاهرة، يبدو أننى كنت طفلا ملائكيا. قالت "ليس ذلك حقيقيا" "انظر إلى هاتين العينين اللتين تنظران بحدة". وتحدثت بحنو، تملكه غالبا، عن أنها فى سنوات حياتنا الكثيرة معا، كانت معرضة لنفس هذه النظرة المحدقة الباحثة الانتقادية.

وجاء المفتاح الآخر الوحيد لكشف أسرار طبيعة شخصيتى المبكرة من مايكل، ابنى من زوجتى الأولى، دورين ؛ فعندما كان فى نفس عمرى تقريبا عاش زمنا مع أمى. ولاحظت أكثر من مرة، ردا عن استفسار منها، أنه كان يرد قائلا: "لكن ذلك لا يمكن أن يكون صحيحا". وقد ترد أمى متحيرة "لما لا؟" فى الوقت الذى يعطى فيه مايكل شرحا بسيطا منطقيا صحيحًا تماما. وأظن أننى أيضا كنت أواجه أمى بمثل هذه الملحوظات، ولم يكن ذلك أمرا صعبا لأنها لم تكن تتمتع بتفكير دقيق ، وكانت تجد مثل هذه الأمور مثيرة للقلق ومحيرة. وعلى أى حال، أصبح واضحا لى الآن أن أمى اعتقدت (شأن كثير من الأمهات) أن ابنها الأكبر يتمتع بمواهب استثنائية، ولأنها قادمة من طبقة متوسطة راسخة، عملت كل ما فى وسعها لتتأكد من أن هذه المواهب تم تعزيزها.

وكان حتميا تجنب أسئلتى الدائمة حول العالم ، حيث إن والدى لم تكن لديهما أية خلفية علمية - فاشتريا من أجلى دائرة معارف أرثر مى للأطفال . وكان يتم نشرها على هيئة سلسلة، بحيث يوجد فى العدد الواحد منها موضوعات مختلطة معا عن الفن،

والعلم، والتاريخ، والأساطير، والأدب. وحسب ما أذكر، قرأت هذه الأعداد كلها بشره، لكن العلم كان الأكثر إغراء. ما الكون؟ ما الذرات؟ كيف تنمو الأشياء؟ اختزنتُ كميات كبيرة من الإجابات، كنت أجد متعة بالغة في الإحساس بأنها جميعا غير متوقعة، يحكم على قيمتها العالم اليومى الذى أراه حولي. وكم كان رائعا اكتشاف مثل هذه الأشياء. ولا بد أن قرارى بأن أكون عالما يعود إلى هذه السن المبكرة ، لكننى توقعت عائقا واحدا ، ففى فترة نموى – وكم يبدو ذلك بعيدا – كان الأمر كما لو أن كل شىء قد تم اكتشافه. وأفضيت بمخاوفى لأمى، التى أعادت تأكيدها لى " لا تشغل بالك، دوكى"، قائلة : "سيكون هناك المزيد لتكتشفه".

تأهلت وقت بلوغى عمر عشر سنوات أو اثنى عشر عامًا ، للتجارب فى البيت – ولا بد أن والدىَّ اشتريا لى كتابا مدرسيا فى الكيمياء. حاولت صناعة حرير صناعى – وانتهى ذلك بالفشل. وضعت خليطا متفجرا فى آنية وفجرتها كهربائيا – وكان ذلك نجاحا مذهلا، حتى إنه أزعج والدىَّ، وهو أمر طبيعى. وتم الوصول إلى حل وسط. يمكن تفجير إناء فقط عندما يكون مغمورا فى دلو ملىء بالماء. وحصلت على جائزة فى المدرسة – أول جائزة أحصل عليها فى حياتى – لجمع مجموعة من الأزهار البرية. وقد جمعت من الأنواع أكثر بكثير مما جمع أى تلميذ آخر، لكننا كنا نعيش عندئذ على حدود الريف فى الوقت الذى كان أغلب رفاقى من التلاميذ يعيشون فى المدينة. وشعرت بقليل من الذنب بسبب ذلك ، لكننى قبلت الجائزة – كتاب صغير عن النباتات آكلة الحشرات – دون تردد. وكتبت ونسخت مجلة صغيرة لتسلية والدىَّ وأصدقائى. أما دون ذلك فلا أذكر أننى كنت مبكر النضج عقليا بشكل استثنائى أو أننى أنجزت أى شىء بارز. وكان مستواى جيداً إلى حد ما فى الرياضيات، لكننى لم أكتشف بنفسى بعض النظريات المهمة. باختصار، كنت شغوفا بمعرفة العالم، منطقى، مغامر، راغب فى العمل الشاق إذا أثار شىء حماسى. وإذا كان لى عيب فإنه يتمثل فى أننى إذا أمكننى فهم شىء بسهولة، كنت أظن أننى فهمته تماما بالكامل.

وكان أفراد أسرتى جميعا من لاعبى التنس. لعبه أبى سنوات طويلة ممثلا لنورثامبتونشاير، المقاطعة الإنجليزية، ولعب مرة لويمبلدون ، ولعبت أمى أيضا التنس، لكن بمهارة أقل وبحماس متوسط. وكان أخى الأصغر، تونى، لاعبا أكثر حماسة،

وأظهر مواهبه فى بطولة جينيور كاونتى ، ولعب أيضا لمدرسته. ويصعب علىّ أن أصدق الآن، أننى كنت صبيا مجنونا بالتنس. ومازلت أتذكر يوم أيقظتنى أمى مبكرا، وأبلغتنى (ويالها من نعمة) أنه يمكننى عدم الذهاب إلى المدرسة ذلك اليوم ؛ حيث إننا كنا ذاهبين إلى ويمبلدون ، وكان يمكننى وأخى الجلوس، بضع ساعات أحيانا، بجانب الملاعب فى النادى المحلى للتنس، ننتظر توقف الرذاذ آملين أن يجف ملعب ما بدرجة تكفى لأن نلعب عليه ، ولعبت مباريات أخرى (كرة القدم، الرجبى، الكريكيت، ... إلخ)، ولكن بدون تفوق فى أى منها.

كان والداى متدينين بشكل بالغ الاعتدال ، ولم يكن لدينا ما يشبه الصلوات العائلية، لكنهما كانا يذهبان إلى الكنيسة كل صباح أحد ، وعندما كبرنا بدرجة كافية كنت وأخى نذهب معهما . وكانت الكنيسة بروتيستانتية منشقة عن الكنيسة الإنجليزية، وهى ما يطلق عليها فى إنجلترا كنيسة مستقلة، لها مبنى ضخم فى جادة أبينجتون، ولأنه لم يكن لدينا سيارة كنا نذهب غالبا سيرا على الأقدام إلى الكنيسة، وأحيانا كنا نقطع جزءا من الرحلة بالأوتوبيس ، وكانت أمى معجبة جدا بالكاهن بسبب تمسكه بالاستقامة. كان أبى سكرتيرا للكنسية فى فترة ما (حيث كان يعد المراجعات المالية للكنيسة)، لكننى لم أشعر أن أيا منهما كان مغاليا فى الورع. وبالتأكيد لم يكن أى منهما يتصف بضيق الأفق فى نظرتهما للحياة. وكان أبى يلعب التنس أحيانا فى أمسيات الأحد، لكن أمى كانت تحذرنى من ذكر ذلك الأمر أمام أعضاء الكنسية المستقلة ؛ لأن بعضهم قد لا يقر مثل هذا السلوك الأثيم.

وتقبلت كل تلك الأمور، كما يفعل الأطفال عادة، كجزء من طريقتنا فى ممارسة الحياة. وليس واضحا لى فى أية مرحلة بالضبط فقدت إيمانى الدينى المبكر، لكنى أعتقد أننى كنت فى نحو الثانية عشرة من عمرى. وأنا متأكد بدرجة كبيرة أن ذلك حدث قبل دخولى الفعلى فى سن البلوغ. ولا أذكر أيضا بالضبط ما الذى قادنى إلى هذا التغير الجذرى فى وجهة النظر. وأتذكر إننى قلت لأمى إننى لم أعد أرغب فى الذهاب إلى الكنيسة ، وكانت واضحة الاضطراب أمام ذلك الأمر ، وظننت أن زيادة اهتمامى بالعلم والمستوى العقلى المنخفض نسبيا للواعظ واستقلاليته حرضانى، رغم

أننى فى شك حول ما إذا كان الأمر سيختلف لو أننى عرفت عقائد مسيحية أخرى أعلى مستوى. وأيا كان السبب، أصبحت منذ ذلك الحين متشككا - لا أدرى - لدى ميل كبير إلى الإلحاد.

ولم يمنعنى ذلك من حضور الطقوس المسيحية فى المدرسة، خاصة فى المدرسة الداخلية التى التحقت بها لاحقا ؛ حيث كان يتم تنظيم صلاة إجبارية كل صباح واثنتين يوم الأحد. وفى عامى الأول هناك وصل الأمر أن أغنى فى جوقة المنشدين، حتى انقطع صوتى. وكان يحدث أن أنصت إلى المواعظ ، ولكن دون انتباه كاف ، بل وبنوع من التسلية إذا كان من الصعب احتمالها. ولحسن الحظ، حيث إن هذه المواعظ موجهة إلى التلاميذ، كانت قصيرة غالبا، رغم أنها كلها تقريبا كانت تدور حول النصائح الأخلاقية.

وليس لدى شك، وهذا ما سوف يظهر لاحقا، فى أن فقدى للإيمان بالدين المسيحى وارتباطى المتنامى بالعلم لعبا دورا رئيسيا فى مهنتى العلمية، ليس بقدر كبير فى مسار الحياة اليومية ، ولكن فى اختيار ما أراه مثيرا للاهتمام ومهماً. وقد تحققت مبكرا أن المعرفة العلمية التفصيلية تجعل الدفاع عن بعض الاعتقادات الدينية متعذرا. وتؤدى معرفة العمر الحقيقى للأرض والسجل الأحفورى إلى استحالة أن يؤمن أى فكر متزن بالحقيقة الموضوعية لكل أجزاء الكتاب المقدس كما يفعل المتعصبون. وإذا كانت أجزاء من الكتاب المقدس واضحة الخطأ ؛ فلماذا يتم قبول أجزائه الأخرى تلقائيا؟ وقد لا يكون الاعتقاد، وقت تكوّنه، معتمدا فقط على الخيال لكنه يناسب أيضا كل ما كان معروفا عندئذ. ومع ذلك قد تبدو هذه العقائد سخيفة بسبب الحقائق التى يكشف العلم عنها النقاب فيما بعد. وهل يوجد ما هو أكثر حماقة من أن يبنى المرء كل وجهة نظره عن الحياة على الأفكار، التى مهما تكن مقبولة فى زمنها، تظهر الآن خاطئة تماما؟ وما هو الأكثر أهمية من أن نعثر على مكاننا الصحيح فى الكون بأن نزيح واحدة إثر واحدة من هذه الآثار غير الملائمة من المعتقدات المبكرة؟ ومن الواضح أيضا أن بعض الظواهر الغامضة مازال على العلم أن يوضحها. وكلما استمرت هذه الظواهر غير مفسرة، يمكن أن تظل مأوى آمن للخرافات الدينية. ويبدو لى تحديد طبيعة هذه المناطق

الغامضة فى المعرفة ذى أهمية بالغة مع العمل نحو فهمها علميا، سيان أدى هذا التفسير إلى تدعيم المعتقدات الدينية أو دحضها.

ورغم أننى أرى كثيرا من المعتقدات الدينية منافية للعقل (وقصة الحيوانات فى سفينة نوح مثال جيد)، أجد غالبا تبريرات لهذه المعتقدات بينى وبين نفسى مفترضا أنه كان لها فى الأصل بعض الأسس المنطقية.

وكان هذا الموقف يقودنى أحيانا إلى افتراضات لا مبرر لها. وكنت على ألفة بوصف سفر التكوين لخلق الله لحواء من أحد أضلع آدم. كيف ينشأ مثل هذا الاعتقاد؟ بالطبع أعلم، أنه من جوانب معينة على الأقل، يختلف الرجال عن النساء تشريحيا ؛ فهل الأكثر ملاءمة أن أفترض أن الرجال لديهم أضلاع أقل بضلع واحد عن النساء؟ ويمكن للبشر البدائيين، بمعرفتهم هذه المعلومة، أن يعتقدوا بسهولة أن هذا الضلع الناقص تم استخدامه فى تكوين حواء. ولم يرد إلى عقلى أبدا ضرورة التأكد من هذا الافتراض الضمنى الذى افترضته فى علاقته بالحقائق. وظللت متبنيا هذه الفكرة حتى بضع سنوات لاحقة، ربما قبل تخرجى، عندما أسررت لأحد أصدقائى، طالب طب، أننى أعتقد أن النساء لديهن ضلع زائد مقارنة بالرجال. ولدهشتى، بدلا من الموافقة ، دحض هذه الفكرة بقوة سائلا إياى عن سبب اعتقادى بذلك. وعندما أوضحت أسباب هذا الاعتقاد لدى كاد أن يسقط من فوق مقعده ضاحكا. وتعلمت بصعوبة أنه فى حالة التعامل مع الأساطير لا يجب أن يحاول الإنسان المبالغة فى المنطق.

ويتصف تعليمى الأساسى بقليل من السمات الخاصة. التحقت لعدة سنوات بمدرسة نورثامبتون الثانوية. وفى عمر أربعة عشر عاما حصلت على منحة دراسية لمدرسة ميل هيل فى نورث لندن، وهى مدرسة صبيان "عامة" (يعنى خاصة فى المفهوم البريطانى)، تتكون أساسا من تلاميذ القسم الداخلى. وكان أبى وأخواته الثلاثة قد تلقوا تعليمهم فى نفس هذه المدرسة. ولحسن الحظ كانت المدرسة جيدة فى تعليم العلوم، وحصلت على أساس شامل فى الفيزياء، والكيمياء، والرياضيات.

وإلى حد ما كان لدى موقف شائع تجاه الرياضيات البحتة؛ حيث إننى كنت مهتما بشكل رئيسى بالنتائج الرياضية. ولم يكن الانضباط الدقيق للبرهان الصارم ذى

جـاذبيـة بالنسبـة لى، رغم أننى أسـتـمـتـع بأناقـة البـراهين البـسيطة. ولم يكن فى استطاعتى أيضا الشعور بحماسة شديدة للكيمياء، التى تشبه كثيرا، كما كان يتم تدريسها للتلاميذ، مجموعة من الوصفات أكثر من كونها علما. وبعد ذلك بوقت طويل، عندما قرأت كتاب الكيمياء العامة لليناس باولينج، وجدتها فاتنة. ورغم ذلك لم أحاول أبدا أن أبرع فى الكيمياء غير العضوية، ومازالت معلوماتى عن الكيمياء العضوية مرقعة تماما. وكنت استمتع بالفيزياء التى درستها فى المدرسة. وكان هناك منهج حول البيولوجيا الطبية (كان فى المدرسة صف سادس طبى، يعد التلميذ للالتحاق بأول بكالوريا فى امتحان الطب)، لكنه لم يحدث أبدا أن تعلمت شيئا عن الحيوانات الأساسية فى المنهج: دودة الأرض، والضفدعة، والأرنب. وأظن أننى جمعت بنفسى عناصر الوراثة المندلية، ولا أعتقد أننى تعلمتها أبدا فى المدرسة.

ولعبت، أو أجبرت على لعب، عدداً كبيراً من الألعاب الرياضية، لكننى كنت غير بارع إلى حد كبير فى كل تلك الألعاب ما عدا التنس، ونجحت فى الالتحاق بفريق التنس فى المدرسة خلال العامين الأخيرين لى هناك. وعندما تركت المدرسة وجدت أننى غير قادر بعد ذلك على لعب التنس للاستمتاع، لذلك أقلعت عن هذه اللعبة، وكنت أجد صعوبة بعد ذلك فى ممارستها.

وفى سن الثمانية عشرة ذهبت إلى جامعة كوليدج فى لندن. وكان والداى قد تركا نورثامبتون إلى ميل هيل، حتى يتمكن أخى الأصغر من الالتحاق بالمدرسة كطالب خارجى. وعشت فى المنزل، أذهب إلى جامعة كولدج بالأوتوبيس ومترو الأنفاق، وكانت رحلة الاتجاه الواحد تستغرق فى أحسن الأحوال أقل من ساعة. وعندما بلغت من العمر واحد وعشرين عاما حصلت على درجة الشرف فى الفيزياء فى الصف الثانى، مع رياضيات إضافية. وكان تعليم الفيزياء وافيا لكن على الأسلوب القديم. وكان يتم تعليمنا نظرية بور فى الذرة، التى كانت فى ذلك الحين (منتصف الثلاثينيات) عتيقة تماما. وكان من الصعب ذكر ميكانيكا الكم حتى تم تنظيم منهج بالغ القصر من ست محاضرات فى آخر السنة النهائية. وبنفس الأسلوب، كانت الرياضيات التى تعلمتها هى نفسها التى وجدها الجيل السابق من الفيزيائيين مفيدة. ولم أتعلم شيئا عن قيم إيجين أو نظرية المجموعات، مثلا. وتغيرت الفيزياء بالطبع بقدر لا يمكن تصوره منذ

ذلك الحين حتى الآن. وفى ذلك الوقت لم يكن يوجد شىء يذكر عن الإلكترو ديناميكية الكمية، فما بالك بالكواركات والأوتار الفائقة. وكانت نتيجة ذلك، أنه رغم تدريبى على ما قد يعتبر الآن فيزياء تاريخية، فإن معلوماتى الحالية عن الفيزياء الحديثة يعتبر على مستوى مجلة "ساينتفك أمريكان" فقط.

علّمت نفسى بعد الحرب مبادئ ميكانيكا الكم، لكنى لم أجد الفرصة الملائمة أبدا لاستخدمها. وكانت الكتب حول هذا الموضوع تحمل فى تلك الأيام غالبا عنوان "الميكانيكا الموجية". وكان يمكن العثور عليها عندئذ فى مكتبة جامعة كمبريدج مصنفة تحت عنوان "ديناميكا الموائع". ولا شك أن ذلك يختلف الآن.

وعندما حصلت على بكالوريوس العلوم، بدأت الأبحاث فى جامعة كوليدج تحت إشراف البروفيسور إدوارد نيفيل دى كوستا أندراد، بمساعدة مالية من عمى، أرثر كريك. ووضعنى أندراد أمام أكثر ما يمكن تخيله من المشاكل الغامضة، تحديد لزوجة الماء، تحت تأثير الضغط، بين ١٠٠و١٥٠ درجة مئوية. وعشت فى شقة مؤجرة بالقرب من المتحف البريطانى شاركت فيها صديق مدرسة سابق، راؤول كلينفوكس، الذى كان يدرس القانون.

وكانت مهمتى الرئيسية صنع إناء نحاسى كروى محكم ضد التسريب (لوضع الماء فيه) ، يكون له عنق يسمح بتمدد الماء. وكان من الضرورى المحافظة عليه فى درجة حرارة ثابتة ؛ حيث يتم تسجيل تقلباته المتضائلة على غشاء. ولم أكن ماهرا فى التركيبات الميكانيكية الدقيقة ، لكننى تلقيت مساعدة من ليونارد والدين، أهم مساعدى المختبر لدى أندراد، وفريق رائع فى ورشة المختبر. وتمتعت بصناعة الجهاز فعلا، وهو عمل مضجر لولا أنه متعلق بالعلم ؛ حيث كانت راحة لى أن أصنع شيئا بعد سنوات من الدراسة البحتة.

وقد تكون هذه التجارب ساعدتنى خلال الحرب، عندما كان علىّ أن أبتكر أسلحة، أما خلاف ذلك فكانت تبديدا كاملا للوقت. وقد نلت، حتى ولو بشكل غير مباشر، مفخرة الفيزيائى، ألا وهى الشعور بأن علم الفيزياء بانضباطه بالغ النجاح؛ فلماذا لا تفعل العلوم الأخرى مثله؟ وأظن أن ذلك قد ساعدنى عندما انتقلت فى آخر الأمر، بعد

الحرب، إلى الفيزياء الحيوية. وكان تصحيحا طيبا للموقف البطيء الحذر نسبيا إلى حد ما ، والذى يواجهنى غالبا عندما أبدأ الاختلاط بعلماء البيولوجيا.

وعندما بدأت الحرب العالمية الثانية فى سبتمبر ١٩٣٩، تم نقل الإدارة إلى ويلز. وبقيت فى المنزل، شاغلا وقتى بتعلم كيفية لعب الإسكواش. وعلمنى أخى (الذى كان طالب طب) فى ملاعب الإسكواش فى مدرسة ميل هيل. وكان التلاميذ قد انتقلوا إلى ويلز، وأصبحت مبانى المدرسة مستشفى طوارئ. ولعبت وتونى على عائق منزلق. وكلما خسرت مباراة كنت أبدأ المباراة التالية بنقطة إضافية. وإذا كسبت مباراة كان يتم خصم نقطة من ميزتى تلك. ومع نهاية العام كنا متعادلين تقريبا. ولعبت الإسكواش أحيانا، على نحو متقطع، لعدة سنوات، فى كل من لندن وكمبريدج. وكنت أستمتع بهذه اللعبة دائما ؛ لأننى لم أحاول أبدا أن ألعبها بشكل جاد، وحيث إنها لم تعد لعبة معقولة لشخص فى سنى، أمارس حاليا تدريباتى بالسير أو السباحة فى حوض سباحة ساخن تحت أشعة الشمس فى ساوثرن كاليفورنيا.

وحصلت أخيرا، فى أوائل الأربعينيات، على عمل مدنى فى الأميرالية ، مما أتاح لى أن أتزوج زوجتى الأولى، دورين دود. وولد ابننا مايكل فى لندن، خلال غارة جوية، فى ٢٥ نوفمبر ١٩٤٠ . وعملت أولا فى مختبر أبحاث الأميرالية، بعد المختبر الفيزيائى القومى فى تيدنجتون، ضاحية جنوب لندن. وانتقلت بعد ذلك إلى إدارة تصميم الألغام بالقرب من هافانت، التى لا تبعد كثيرا عن بورتسموث على الشاطئ الجنوبى لإنجلترا. وبعد نهاية الحرب حصلت على عمل فى المخابرات العلمية فى الأميرالية فى لندن. ولحسن الحظ فجر لغم أرضى الجهاز الذى جاهدت فى تصنيعه فى جامعة كوليدج، لذلك لم أكن مضطرا بعد الحرب أن أعود من جديد إلى قياس لزوجة الماء .

الفصل الثانى

اختبار الإشاعة

خلال أغلب وقت الحرب كنت أعمل فى مجال تصميم الألغام المغناطيسية والصوتية - ألغام عدم التماس - فى البداية تحت إدارة فيزيائى نظرى شهير هو إتش. إس. دبليو. ماسى. وكان يتم إسقاط هذه الألغام بطائراتنا على قنوات الملاحة فى مناطق المياه الضحلة نسبيا فى البلطيق وبحر الشمال. وتبقى هناك، صامتة وسرية، على قاع البحر حتى تنفجر بواسطة كاسحة للعدو أو تفجر أحد سفن العدو. وكانت الخدعة فى تصميم دوائر هذه الألغام تتمثل فى جعلها تميز بطريقة ما بين المجالات المغناطيسية والأصوات الصادرة عن الكاسحة وتلك الصادرة عن السفينة. وأحرزت نجاحا فى هذا المجال. وكانت فعالية هذه الألغام خمسة أمثال ألغام عدم التماس التقليدية. وأشارت تقديرات ما بعد الحرب إلى أن الألغام أغرقت أو دمرت بشكل خطير آلاف من مراكب العدو التجارية.

وعندما انتهت الحرب كنت متحيرا حول ما يجب أن أفعل. وكنت فى ذلك الوقت أعمل فى مركز قيادة الأميرالية فى وايتهول، فى ملحق دون نوافذ يعرف باسم القلعة. واتخذت الموقف السليم فطلبت أن أكون فى الخدمة المدنية العلمية الدائمة. ولم يكونوا متأكدين فى البداية من أنهم فى حاجة إلىّ، لكن فى آخر الأمر، بعد ضغط من الأميرالية وبعد مقابلة ثانية - وكان رئيس اللجنة الروائى سى. بى. سنو - عرضوا علىّ عملا دائما. وفى ذلك الوقت كنت متأكدا - إلى حد كبير - أننى لا أرغب فى أن أقضى ما تبقى من عمرى فى تصميم الأسلحة، ولكن ماذا كنت أرغب فى فعله؟ قمت بتقييم مؤهلاتى. لم تكن درجة تلك المؤهلات جيدة جدا، لكن يرفعها إلى حد ما إنجازاتى فى الأميرالية ، ومعرفة بجوانب محدودة من المغناطيسية وديناميكا الموائع،

ولا يمثل أى منهما موضوعا يشعرنى بأقل قدر من الحماسة، ولا أى بحث منشور. بضع تقارير قليلة العدد جدا كتبتها للأميرالية فى تيدينجتون. وبدأت فقط بالتدريج أتحقق من أن هذا النقص فى المؤهلات قد يكون ميزة؛ حيث إنه مع وصول أغلب العلماء إلى عمر ثلاثين عاما يصبحون مقيدين بخبرتهم الخاصة. ويكونون قد استثمروا مجهودا كبيرا فى مجال معين ليصبح من الصعب تماما فى أغلب الحالات، بعد كل ذلك الوقت فى مهنهم، أن ينفذوا تغيرا جذريا، لكننى - عكس ذلك - لم أكن أعرف شيئا سوى التدريب الأساسى فى نوع من الفيزياء التى انقضى زمنها والرياضيات وقدرتى على الانكباب على المجالات الجديدة. وكنت متأكدا - بشكل عقلى - أننى أرغب فى إجراء أبحاث أساسية أكثر من ميلى إلى الأبحاث التطبيقية، حتى لو كانت خبراتى فى الأميرالية قد تجعلنى أكثر استعدادا لأعمال التطوير، لكن هل كانت لدى المهارة اللازمة؟

كان هناك بعض الشك في هذا الأمر بين أصدقائى؛ فالبعض منهم يرى أنه قد يكون من الأفضل لى أن أعمل فى الصحافة العلمية ، وربما - كما اقترح أحدهم - كان علىّ أن أحاول الالتحاق بمحررى "نيتشر"، المجلة العلمية الأسبوعية الرائدة. (ولا أعرف رأى رئيس التحرير الحالى، جون مادوكس، فى هذه الفكرة). واستشرت عالم الرياضيات إدوارد كولينجوود، الذى عملت تحت رئاسته خلال الحرب ، ولأنه كان دائما مصدرا للطمأنينة والمساعدة، لم يجد سببا لعدم نجاحى فى الأبحاث النظرية. واستشرت أيضا صديقى الحميم جورج كريسيل، وهو الآن عالم منطق رياضى شهير ، التقيت به مصادفة عندما أتى، فى سن تسعة عشر عاما، للعمل فى الأميرالية تحت رئاسة كولينجوود. كان أول بحث لكريسيل _مقالة حول مدخل لمشكلة زرع الألغام فى البلطيق، باستخدام طريقة ويتجينشتين _قد أغلق عليه كولينجوود بذكاء فى خزينته. وعرفت كريسيل جيدا فى ذلك الوقت ؛ لذلك شعرت أن نصيحته قد تقوم على أساس راسخ ، وفكر لحظة ثم ألقى قراره: "عرفت كثيرا من الناس الأكثر غباء منك نجحوا فى هذا المجال".

وبهذا التشجيع، كانت مشكلتى التالية اتخاذ قرار بالموضوع الذى علىّ أن أختاره، وحيث إننى جوهريا لا أعرف شيئا، كان لدى تقريبا حرية اختيار كاملة. وكان ذلك، كما اكتشف جيل الستينيات لاحقا، مما يجعل القرار أكثر صعوبة. وأطلت التفكير

فى هذه المشكلة عدة أشهر. وعرفت فى وقت متأخر من اختيارى لمهنتى أنه كان علىّ أن أحسن الاختيار منذ البداية. وكان من الصعب محاولة اختيار موضوع واحد عامين أو ثلاثة أعوام ثم التحول منه إلى موضوع آخر مختلف جذريا. وأيا كان اختيارى فإنه سيكون الأخير، على الأقل لعدة سنوات.

وأتاح لى عملى فى الأميرالية التعرف إلى عدد من الأصدقاء من بين ضباط البحرية. وكانوا مهتمين بالعلم ، لكن معرفتهم به كانت أقل من معرفتى بكثير. ولاحظت يوما أننى كنت أحكى لهم، بقدر من الحماسة، عن التطورات الحديثة فى المضادات الحيوية – البنسلين وأمثاله. وفى تلك الأمسية فقط توصلت إلى أننى لا أعرف تقريبا أى شىء عن هذه الموضوعات، سوى ما قرأته فى "بنجوين ساينس" أو بعض الدوريات المماثلة. وأفقت على أننى لم أكن أحكى لهم حقا عن العلم ، لكننى كنت أحكى مجرد قيل وقال عن العلم.

وكان هذا التبصر إلهاما بالنسبة لى ؛ فقد اكتشفت اختبار الإشاعة – ما يهمك حقا هو ما تشيع عنه الأقوال.

وبدون تردد طبقت هذا الاختبار على محادثاتى فى ذلك الحين. وبسرعة تمكنت من تضييق مجال اهتماماتى إلى منطقتين رئيسيتين: الحد الفاصل بين الحى وغير الحى، وأنشطة المخ. وأظهر لى مزيد من الاستبطان أن ما يجمع بين هذين الموضوعين أنهما يلمسان المشاكل التى يراها كثيرون فوق قدرة العلم على التفسير. وكان واضحا أن إنكار العقيدة الدينية الدوجماتية كان جزءًا عميقا من طبيعتى. وكنت دائما أبدى تقديرى لفكرة أن الأسلوب العلمى للحياة، مثله مثل نظيره الدينى، يحتاج إلى درجة عالية من تكريس النفس ، وأن الإنسان لا يمكنه أن يكرس نفسه لأى شىء إلا إذا كان يؤمن به بحماس.

وبعد هذا الموقف كنت مبتهجا بتقدمى ، وبدا أننى وجدت معبرا خلال جبال المعلومات اللامتناهية ، ويمكننى أن ألمح المسار الذى أريده ، ولكن كان لا يزال أمامى أن أقرر اختيار أحد المجالين ، ويطلق عليهما الآن البيولوجيا الجزيئية والبيولوجيا العصبية. وثبت أن ذلك أكثر سهولة ، ولم أجد سوى صعوبات قليلة فى إقناع نفسى بأن

ثقافتي العلمية فى ذلك الحين يمكن تطبيقها فى المجال الأول - الحدود الفاصلة بين الحي وغير الحي - وقررت دون مزيد من التردد أن هذا هو اختياري.

ولا يعني ذلك أنني كنت على معرفة بأى شيء فى أى من الموضوعين. وكنت قد قضيت بعد الحرب كثيرا من وقت فراغي فى تدعيم ثقافتي بالقراءة. وأتاح لى كرم الأميرالية أن أذهب مرة أو مرتين أسبوعيا إلى حلقات دراسية ومجموعات محاضرات فى الفيزياء النظرية فى جامعة كوليدج خلال ساعات عملى. وكان يحدث أحيانا أن أجلس على مكتبى فى الأميرالية لأقرأ بشكل مختلس كتابا دراسيا فى الكيمياء العضوية. وتذكرت من أيام الدراسة القليل حول الهيدروكربونات، وحتى حول الكحول ومركب الكيتون العضوى، ولكن ماذا عن الأحماض الأمينية؟

قرأت فى "أخبار الكيمياء والهندسة" مقالة لكاتب تنبأ بأن رباط الهيدروجين سيكون بالغ الأهمية فى البيولوجيا - لكن ما هو هذا الرباط؟ وكان للكاتب اسم غير عادي - ليناس بولينج - لكنه كان مجهولا لديّ تماما. وقرأت الكتاب الصغير للورد أدريان حول المخ ، ووجدته كتابا فاتنا ، وقرأت أيضا كتاب إروين شرودينجير "ما الحياة"؟ ، ولم أتحقق من قصور هذا الكتاب إلا لاحقا ، ومثل كثير من علماء الفيزياء، لم يكن شرودينجير يعرف شيئا عن الكيمياء ، لكنه عرض الأمر كما لو كانت الأحداث العظيمة على وشك الحدوث. وقرأت كتاب هينشيلوود "خلية البكتيريا" ، لكنني استهنت به. (كان سيريل هينشيلوود عالم فيزياء كيميائية شهير ، أصبح لاحقا مدير الجمعية الملكية ونال جائزة نوبل).

ورغم كل هذه القراءات، يجب أن أؤكد أنني لم يكن لديّ سوى معلومات سطحية تماما عن الموضوعين اللذين اخترتهما ، ولم يكن لديّ بالتأكيد تبصرا عميقا فى أى منهما ، والذى جذبني إليهما أن كل منهما كان يتضمن سرا مهما - سر الحياة وسر الوعي. وكنت أرغب فى معرفة أكثر دقة عن طبيعة هذين اللغزين، بالمصطلحات العلمية ، وأدركت أنه سيكون أمرا رائعا أن أنجح فى النهاية فى الإسهام ولو قليلا فى حلهما ، لكن ذلك كان يبدو أبعد من أن يشغلني.

وفي هذه المرحلة ظهرت أزمة، تلقيت عرضا للعمل. ليس مجرد منحة جامعية، بل عمل حقيقي ؛ حيث أقنع هاملتون هارتريدج، فيزيائي شهير، ولكنه مارق إلى حد ما، مجلس البحث الطبي بتأسيس وحدة صغيرة له، للعمل في مجال العين. ويبدو أنه سمع عن أنني أبحث عن فرصة عمل ملائمة ؛ لأنه طلب مني أن أذهب لمقابلته. قرأت متعجلا بحثه في وقت الحرب عن رؤية اللون - وكما أذكر، فإنه يعتقد، حسب بحثه في مجال علم نفس الرؤية، أنه من المحتمل وجود سبعة أنواع من المخروطات في العين، وليس المخروطات الثلاثة التقليدية. وسارت المقابلة بشكل جيد ، وعرض عليّ العمل. وتمثلت مشكلتي في أنني كنت قد قررت الأسبوع السابق فقط أن يكون مجال عملي الجديد في البيولوجيا الجزيئية وليس في البيولوجيا العصبية.

وكان القرار صعبا. وقلت لنفسي أخيرا إن تفضيلي لتخوم الحي وغير الحي أصبح راسخا، وأن لديّ فرصة وحيدة في أن أبدأ العمل في مهنة جديدة، وأنه لا يجب أن أغير مساري لمجرد أن شخصا ما عرض عليّ عملا. وكتبت على مضض إلى هارتريدج أبلغه أنه برغم عرضه الجذاب فإنني مضطر لرفضه. ويبدو أن موقفي ذلك كان سليما إلى حد ما ؛ لأنه رغم أنني وجدت في هارتريدج شخصية نشيطة تهوى الانهماك في العمل، بدا لي مبالغا في حماسته إلى حد ما ، ولم أكن متأكدا تماما من أننا سننسجم معا. وكنت أشك أيضا في أن يكون متسامحا بالقدر الكافي إذا أظهر عملي خطأ أفكاره، كما أثبتت الأيام.

وكانت مهمتي التالية أن أجد مدخلا ما إلى موضوعي الجديد. وزرت جامعة كوليدج لمقابلة ماسي، الذي عملت تحت قيادته خلال الحرب، لتوضيح موقفي وطلب المساعدة. وكان أول ما تبادر إلى ذهنه عندما أبلغته بأنني أنوي ترك الأميرالية أنني أرغب منه أن يحصل لي على عمل في الطاقة الذرية (كما كانت تدعى حينئذ) ؛ حيث كان يعمل في بيركلي خلال المراحل الأخيرة من الحرب. ونظر إليّ بدهشة عندما تحدثت معه عن اهتمامي بالبيولوجيا، لكنه كان مفيدا لي جدا ، وعرض عليّ طريقين: الأول الانضمام إلى إيه. في. هيل، في جامعة كوليدج أيضا، عالم فيزياء من كمبريدج صنع لنفسه شهرة راسخة بدراسته الفيزياء الحيوية للعضلة، خاصة الجوانب الحرارية للتقلص العضلي. وكانت لنتائج هذه الأبحاث فضل في حصوله على جائزة نوبل

فى ١٩٢٢ . ووافق على فكرة أننى أيضا يجب أن أصبح عالم فيزياء حيوية ، أو ربما، أو فى آخر الأمر، أعمل فى أبحاث العضلة. ورتب لى لقاء مع سير إدوارد ميلانبى، السكرتير القوى لمجلس البحث الطبى. وأعطانى أيضا بعض النصائح. "يجب أن تذهب إلى كمبريدج" كما قال : "ستجد مستواك الخاص هناك".

وكان الشخص الثانى الذى طلب منى ماسى أن أقابله هو موريس ويلكينز. وابتسم ماسى عندما أوصانى بذلك، وشعرت أن موريس غير طبيعى بشكل ما. كانا قد عملا معا فى فصل النظائر فى بيركيلى لصنع القنبلة الذرية. وكان ويلكينز قد عمل تحت قيادة رئيسه القديم، جون راندال فى قسم الفيزياء فى جامعة كوليدج فى لندن، وإلى هناك ذهبت لمقابلته فى حجرات تحت الأرض حيث كانوا جميعا يعملون.

وكان راندال قد أقنع مجلس الأبحاث الطبى بدعم دخول علماء الفيزياء إلى البيولوجيا. وكان للعلماء خلال الحرب تأثير أكثر بكثير مما كان لديهم قبل الحرب، ولم يكن الأمر صعبا بالنسبة لراندال، أحد مخترعى الصمام المفرغ (المغنطرون) (التطور الحاسم فى التطبيقات العسكرية للرادار)، أن يبرهن على أن علماء الفيزياء كانوا العامل الحاسم فى المجهود الحربى، ويمكنهم الآن تحويل جهودهم إلى بعض المشاكل البيولوجية الأساسية التى ترتبط بأسس البحث الطبى. وهكذا توافر المال لعلماء "الفيزياء الحيوية"، وأسس مجلس البحث الطبى أحد وحداته للبحث فى كلية الملك. ويبدو أنهم شعروا فى الكلية أنه يجب اتخاذ خطوة مهمة فى مجال تطبيق تقنيات الفيزياء الحديثة على المشاكل البيولوجية.

وكان ويلكنز يعمل فى تصميم ميكروسكوب جديد يعمل بالأشعة فوق البنفسجية، مستخدما المرايا أكثر من استخدامه للعدسات. وكان يجب صناعة العدسات من الكوارتز؛ حيث إن الزجاج العادى يمتص الضوء فوق البنفسجى. وأصبح ما يأملون فى اكتشافه بواسطة هذه الأجهزة الجديدة أقل وضوحا، لكن ساد شعور أن أى ملاحظات جديدة ستؤدى حتما إلى اكتشافات جديدة.

كان أغلب عملهم يتضمن فحص الخلايا أكثر من دراسة الجزيئات.

وكانت القوة الكاملة للميكروسكوب الإلكترونى ما زالت تحت التطوير فى تلك الأيام، لذلك كان فحص الخلايا لا يتجاوز قدرة قوة التحليل المنخفضة للميكروسكوب

الضوئى. والمسافة بين الذرات أصغر بما يتجاوز ألف مرة طول موجة الضوء المرئى، وتعتبر أغلب الفيروسات أصغر بكثير مما يمكن رؤيته بميكروسكوب عادى بالغ القوة، وقد يمكن رؤيتها كبقعة من الضوء بالغة الصغر أمام خلفية مظلمة.

ورغم حماسة موريس وتوضيحاته المشجعة جدا، لم أكن مقتنعا تماما أن هذه هى الطريقة السليمة للعمل.

من ناحية أخرى، كنت أعلم القليل جدا فى هذه المرحلة عن موضوعى الجديد؛ لذلك لم يكن متاحا لى سوى تكوين آراء غير نهائية. وكنت مهتما بشكل أساسى بالتخوم بين الحى وغير الحى. وأيا كان ما يمثله ذلك الاهتمام، فإن أغلب ما كان يتم فى الكلية بدا بعيد جدا على الجانب البيولوجى من هذه التخوم.

وربما كانت أفضل نتيجة لهذا الاحتكاك الأول صداقتى المتواصلة مع موريس. كانت خلفياتنا العلمية متشابهة ، حتى إننا كنا نبدو متشابهين بشكل ما. وبعد عدة سنوات لاحقة، عند رؤية شابة من نيويورك صورة فوتوغرافية لموريس فى كتاب مدرسى كانت تحمل تعليقا مربكا إلى حد ما (كانت تالية لإحدى صور جيم واطسون)، أن ظنت الشابة أنها صورتى، رغم أننى كنت أقف أمامها فى ذلك الحين. وفى مرحلة ما حدث أن تعجبت ، وظننت أن قرابة بعيدة قد تربطنا معا ؛ حيث إن اسم أمى الأصلى كان ويلكينز، لكن إذا كنا أبناء خال أو خالة ربما كانوا ذوى قرابة بعيدة. يضاف إلى ذلك، أننا كنا من نفس العمر ، وقطعنا نفس المسار العلمى من الفيزياء إلى البيولوجيا.

ولم يكن موريس يبدو لى غير عادى بشكل خاص. وحتى لو عرفت ، مثلا، أنه ولوع بالموسيقى التبتية، لا أعتقد أننى كنت سأعتبر ذلك غريبا. ورأت أوديل (التى أصبحت زوجتى الثانية) أنه غريب بشكل ما؛ لأنه عندما وصل لأول مرة لتناول الغداء فى شقتها فى إيرلس كورت ذهب مباشرة إلى المطبخ ورفع أغطية القدور ليرى ما تطهيه.

وتعودت بعد ذلك التعامل مع ضباط البحرية، ولم يسلكوا أبدا بمثل هذه الطريقة. وبعد أن اكتشفت أوديل أن ذلك لم يكن فضولا وقحا من رجل جائع – ويبدو أن العلماء فضوليين نحو مثل هذه الأشياء الغريبة – ولكن ببساطة أن موريس كان مهتما بالطهى، نظرت إليه من زاوية جديدة.

كانت مشكلتى التالية أن أقرر ما الذى سأعمله، والأقل أهمية، أين سأعمله. واستطلعت أولا إمكانية العمل فى بيركبيك كوليدج فى لندن مع عالم البللوريات جي. دي. بيرنال. وكانت لبيرنال شخصية فاتنة. ويمكن الحصول على فكرة حية عنه بقراءة الرواية العلمية المبكرة لسي. بي. سنو "البحث"؛ حيث إن شخصية كونستانتين معتمدة بوضوح على بيرنال. ومن المسلي ملاحظة أنه، في الرواية، فاز كونستانتين بالشهرة وزمالة الجمعية الملكية لاكتشافه كيفية تركيب البروتينات صناعيا، رغم أن سنو بذكائه لم يوضح بدقة طبيعة هذه العملية، وتدور حبكة الرواية حول تأسيس معهد لعلماء الفيزياء البيولوجية، بينما يتعرض الحدث النهائى لقرار القاص عدم فضح زميل عالم زيف النتائج، وأن يكون البديل التخلى عن مهنته فى العلم، وأن يصبح كاتبا، وهى حادثة أظن أنها تحتذى شيئا مشابها لها فى الحياة المهنية لسنو .

وعندما زرت مختبر بيرنال شجعتنى سكرتيرته، ميس ريميل، ذات الشخصية الصارمة خفيفة الدم. سألتنى "هل تعرف أن أشخاصا من كل أنحاء العالم يأتون طالبين العمل مع البروفيسور؟ لماذا تظن أنه سيقبلك؟" لكن الأكثر صعوبة كانت ميلانبى، التى قالت إن مجلس الأبحاث الطبية لن يدعمنى إذا اشتغلت مع بيرنال. أرادوا منى أن أعمل شيئا أكثر ارتباطا بالبيولوجيا من ذلك. وقررت أن أتبع نصيحة إيه. فى. هيل وأجرب حظى فى كمبريدج، إذا كان هناك من سيقبلنى هناك.

زرت عالم الفسيولوجيا ريتشارد كينيس، الذى تحدث معى وهو يأكل ساندويتش كغداء خفيف أمام تجربته التى يجريها . وكان يعمل فى مجال الحركة الأيونية فى المحور العصبى العملاق للحبار. وتحدثت مع عالم الكيمياء الحيوية روى ماركهام، الذى عرض علىّ نتيجة مثيرة توصل إليها حديثا تتعلق بفيروس نباتي. وبشكل نمونجى وصف لى هذه النتيجة بأسلوب ملغز (ولم أكن على اطلاع كاف بعد بطريقة الحامض النووى فى امتصاص الضوء فوق البنفسجى) حتى إننى لم أدرك فى حينها ما كان يريد أن يخبرنى به. وكان كلاهما راغبا فى المساعدة ومشجعا، لكن أيا منهما لم يكن لديه مكان يعرضه علىّ. وفى النهاية زرت مختبر سترانجوايز، تحت إدارة هونور فيل، حيث يعدون مزارع النسيج. وقدمتنى ريميل إلى أرثر هوفيس. وكان لديهم عالم فيزياء فى سترانجيوايس – دى. أى. لى ، لكنه كان قد توفى حديثا ، وظلت حجرته شاغرة.

هل أرغب فى العمل هناك؟ وافق مجلس الأبحاث الطبية ، وأتاح لى منحة جامعية. وساعدتنى عائلتى أيضا ماليا ؛ فأصبح لدى ما يكفى للعيش فى مسكن وبعض المال لشراء الكتب.

بقيت فى سترانجوايز الجزء الأكبر من العامين التاليين. وخلال وجودى هناك اشتغلت فى مشكلة كانت تلقى اهتماما منهم. وكان هوفيس قد اكتشف أن الخلية الليفية لفرخ فى مزرعة للأنسجة يمكنها أن تطبق على، أو تبتلع، فتات صغيرة من خام مغناطيسى. ويمكن لهذه الجسيمات الصغيرة أن تتحرك داخل الخلية عند إحداث مجال مغناطيسى. واقترح أن تستخدم تلك الحركات للوصول إلى استنتاجات ما حول الخواص الطبيعية للسيتوبلازم داخل الخلية، ولم يكن اهتمامى شديد بهذه المسألة، لكننى أدركت أنها كانت، من وجهة نظر غير متعمقة، مثالية بالنسبة لى؛ حيث إن الموضوعات العلمية الوحيدة التى كانت مألوفة لى كانت المغناطيسية وديناميكا السوائل. وقادت تلك الدراسة فى الوقت المناسب إلى بحثين: أحدهما تجريبى والآخر نظرى، على هيئة "بحث تجريبى للخلية"، وهو أول بحث منشور لى، لكن الميزة الرئيسية تمثلت فى أن متطلبات العمل لم تكن كثيرة؛ فأتاح لى ذلك وقتا طويلا للقراءة المكثفة حول موضوعى الجديد، وحدث فى ذلك الوقت أن بدأت طريقا تجريبيا إلى درجة كبيرة لتكوين أفكارى.

وطلب منى مرة خلال تلك الفترة أن أدردش مع بعض العاملين فى الأبحاث الذين أتوا إلى سترانجوايز لحضور مجموعة محاضرات. وما زلت أذكر ما حدث بوضوح؛ حيث حاولت أن أشرح لهم أهمية مشاكل البيولوجيا الجزيئية. وانتظروا فى ترقب، والأقلام مهيأة للكتابة، لكنهم تخلوا عنها عندما واصلت الحديث. ومن الواضح أنهم ظنوا أن هيئة التدريس لم تكن جادة، وأنهم يتلقون مجرد تأملات. وعند نقطة واحدة بدأوا تدوين ملاحظات، وكان ذلك عندما قدمت لهم شيئا واقعيا حول أن استخدام الأشعة السينية يقلل فجأة لزوجة محلول الدنا. وكلى شغف أن أعرف تماما ماذا قلت عندئذ، وأظن أننى قادر على تخمين ما قلته، لكن الذاكرة أصبحت مكدسة تماما بالأفكار وتطورات السنوات التالية، حتى إننى أصبحت أثق فيها بصعوبة، ولم أعثر على مذكراتى حول هذا اللقاء. وقد يكون النقاش قد دار حول الجينات، ولماذا الحاجة

إلى اكتشاف بنيتها الجزيئية، وكيف يمكن أن يكون بناؤها معتمدا على الدنا (على الأقل جزء منها)، وأن أهم شيء مفيد يعمله الجين هو التحكم في تركيب البروتين، وربما يتم ذلك بمساعدة الرنا.

بعد نحو عام ذهبت إلى ميلانبي لأبلغه بالتقدم في البحث، وأخبرته أنني حصلت على نتائج حول الخواص الطبيعية للسيتوبلازم ، وأنني قضيت كثيرا من الوقت المتاح لي في تعليم نفسي. وبدا متشككا بعض الشيء. وسأل "ما حال البنكرياس؟". وكان كل ما لدي عن وظيفة البنكرياس فكرة غامضة، لكنني غمغمت بشيء حول أنه ينتج إنزيمات، مضيفا بعجلة أن ما يجذبني أكثر ليس الأعضاء ولكن الجزيئات، وبدا عليه مؤقتا أنه راض.

وأتت زيارتي له في لحظة حسن حظ. كان على مكتبه أوراق اقتراح تأسيس وحدة لمجلس الأبحاث الطبية في كافندش لدراسة بنية البروتينات باستخدام طريقة تحليل الأشعة السينية. وكان مخططا أن يترأسها ماكس بيروتز، تحت الإدارة العامة لسير لورانس براج. ولدهشتي (لأنني كنت لا أزال صغير تماما)، سألني عن رأيي في هذه الوحدة. قلت إنها فكرة رائعة ، وقلت لميلانبي أيضا إنني حصلت في ذلك الوقت على خلفية في البيولوجيا. وكنت أرغب في العمل في مجال بنية البروتين؛ حيث شعرت أن قدراتي تتحقق أكثر في هذا الاتجاه. ولم يبد أية اعتراضات تلك المرة، وأصبح الطريق ممهدا أمامي للالتحاق بماكس بيروتز وجون كيندرو في كافندش.

الفصل الثالث

مشكلة مستعصية

آن الأوان لترك تفاصيل مهنتى جانبا لعرض المشكلة الرئيسية . حتى النظرة المتعجلة لعالم الأحياء تظهر تنوعا هائلا ، وبالرغم من أننا نجد كثيرا من الحيوانات المختلفة فى حدائق الحيوانات، فإنها تعتبر جزءًا ضئيلاً جدًا من الحيوانات المشابهة لها فى الحجم والنوع. سُئل جى.بى.إس. هالدين يوما عن ما يمكن أن تقوله دراسة البيولوجيا عن "الله القدير". قال هالدين :

"لست متأكدا فى الحقيقة، باستثناء أن يكون ولعه بالخنافس فوق الحد".

ويقدر عدد أنواع الخنافس بنحو ٣٠٠٠٠٠ على الأقل. وفى المقابل، يوجد ١٠٠٠٠ نوع فقط من الطيور ، ويجب أن نضع فى الاعتبار أيضا كل أنواع النباتات المختلفة، ولن نكون قد قلنا شيئا عن الكائنات الحية الدقيقة مثل الخمائر والبكتيريا. إضافة إلى ذلك، هناك أيضا الأنواع المنقرضة، والديناصورات أكثر الأمثلة إثارة ؛ مما قد يضاعف ألف مرة العدد الكلى للأنواع مقارنة بعدد أنواع الأحياء الراهنة.

وتتمثل الصفة الثانية لغالبية الأحياء فى تعقدها وبشكل خاص فى تعقدها بالغ التنظيم. ودفع ذلك أسلافنا إلى الاعتقاد بأنه من غير المعقول أن تكون مثل هذه الآليات المعقدة وجيدة التنظيم بدون مصمم لها. ولو كنت موجودا منذ ١٥٠ عام مضت لأجبرت على تصديق حجة المصمم تلك. وكان أقوى مدافع عن هذه الحجة وأكثر المتحمسين لها دقة فى دفاعه عنها ريفيريند ويليام بالى، الذى نشر كتابه "علم اللاهوت الطبيعى – أو دليل وجود وصفات الله مستمد من مظاهر الطبيعة" فى ١٨٠٢ . تخيل، كما يقول، أن إنسانا عبر مرجا فوجد على الأرض ساعة تعمل فى حالة جيدة. لا يمكن توضيح

تصميمها ولا أدائها إلا بإسنادها إلى صانع. وبنفس الطريقة، يزعم أن التصميم المعقد للكائنات الحية يرغمنا على الاعتراف بأنها هى أيضا لا بد أن لها مصمماً .

وقضى تشارلز داروين على ذلك الجدل الجبرى ؛ حيث رأى أن ظاهرة التصميم تعود إلى عملية الانتخاب الطبيعى ، وقدم هذه الفكرة كل من داروين وألفريد والاس، مستقلين عن بعضهما تماما ، وتم تقديم بحثيهما أمام الجمعية اللينويسية(*) فى الأول من يوليو ١٨٥٨ ، ولم يلقيا رد فعل كاف فى حينها ، بل إن رئيس الجمعية أشار فى تقريره السنوى إلى أن العام الذى مضى لم يشهد أية اكتشافات ملفتة للنظر. وكتب داروين نصا "قصيرا" حول أفكاره (كان قد خطط لإنجاز عمل أكثر طولا مثل "أصل الأنواع"). وعندما تم نشر ذلك النص فى ١٨٥٩ ، أعيد نشره فورا عدة مرات وأثار ضجة بالفعل. وكان ذلك هو المتوقع تماما ؛ حيث إنه من الواضح الآن أن ذلك النص أوجز عرض الملامح الرئيسية "لسر الحياة". واحتاج الأمر فقط اكتشاف علم الوراثة، وكان أول من أسسه جورج مندل فى ستينيات القرن التاسع عشر، والاكتشاف الذى تم فى القرن الحالى، للأساس الجزيئى للوراثة، لكى يظهر السر أمامنا بكامل بهائه. ومن المدهش تماما أن تكون غالبية الناس الآن غير مدركة لكل ذلك. ومن بين من أدركوه، يرى الكثير منهم (مع رونالد ريجان) أن الأمر قد يتمخض عن شراك ما مخفية. ولا يبالى عدد كبير من الذين تلقوا تعليما عاليا بهذه المكتشفات ، وفى المجتمع الغربى أقلية معبرة عن نفسها إلى حد ما نشطة فى عدائها للأفكار المتعلقة بالنشوء والارتقاء.

فإذا عدنا للانتخاب الطبيعى، قد تكون أول نقطة جديرة بالانتباه أن كائنا معقدا، أو حتى مجرد جزء من هذا الكائن، مثل العين، لم يظهر خلال خطوة نشوء واحدة. وبالأحرى لم يتطور خلال سلسلة من الخطوات الصغيرة. وما تعنيه بالضبط كلمة صغيرة هنا ليس أمرا واضحا بالضرورة ؛ حيث إن نمو كائن حى ما يحكمه برنامج تفصيلى، مكتوب على جيناته. وقد يحدث أحيانا أن يسبب تغير صغير فى جزء مهم من

(*) نسبة إلى لينوس (كارل فون لينيه ١٧٠٧- ١٧٧٨) : عالم النبات السويدى.

البرنامج فى تغير كبير إلى حد ما. ومثال لذلك، يمكن لتعديل فى جين محدد فى ذبابة الفاكهة أن ينتج ذبابا بأرجل مكان قرون الاستشعار.

وتنتج كل خطوة صغيرة من تغيرات عشوائية فى التعليمات الوراثية. وقد لا يفيد الكثير من هذه التغيرات العشوائية الكائن الحى (قد يقتله بعضها قبل أن يولد)، ولكن يحدث أحيانا أن يتيح تغير ما لحسن الحظ مزية منتقاة لكائن حى معين. ويعنى ذلك فى التحليل الأخير أن يترك الكائن الحى، فى المتوسط، نسلا أكثر من المتاح له لولا تلك المزية. وإذا دامت تلك المزية فى نسله يمكن لهذه الطفرة المفيدة أن تنتشر بالتدريج، عبر عدة أجيال، فى جماعة الكائن الحى. وفى حالات طيبة يحصل كل فرد على نسخة محسنة من الجين. ويكون قد تم التخلص من النسخة القديمة. من ذلك يتضح أن الانتخاب الطبيعى آلية جميلة لتغيير الأحداث النادرة (خاصة الأحداث الطيبة النادرة) إلى أخرى شائعة.

ونعرف الآن - وكان آر.إيه. فيشر أول من أشار إلى ذلك - أنه لكى تعمل هذه الآلية لابد أن يكون التوارث وراثة "صفات" متميزة من الأب والأم كليهما، كما أوضح مندل منذ البداية، وليس وراثة "مزج". وفى وراثة المزج تكون صفات النسل مجرد مزج بين صفات الوالدين. وفى حالة وراثة الصفات المتميزة تكون الجينات، وهى ما يتم وراثته، جسيمات لا تمتزج. من هنا يتضح أن بين نوعى الوراثة فرقًا حاسمًا .

ومثال لذلك، فى وراثة المزج إذا حدث تزاوج بين حيوان أسود وآخر أبيض فإن لون النسل الناتج يكون دائما مزج بين الأسود والأبيض، أى درجة ما من الرمادى. وإذا تناسل نسلهما، قد يظل دائما رمادى اللون. وفى وراثة الصفات المميزة يمكن أن يحدث أى شىء . مثال لذلك، قد تأتى كل حيوانات الجيل الأول رمادية تماما ؛ فإذا تزاوجت هذه الحيوانات يمكن الحصول على الجيل الثانى، وهو فى المتوسط ربع من الحيوانات السوداء، نصف رمادى، وربع أبيض. (ويفترض فى هذه النتيجة أن اللون صفة مندلية، بدون أن يكون صفة سائدة بسيطة) ، ولأن الجينات صفة مميزة فإنها لا تمتزج، حتى لو كانت تأثيراتها، فى حيوان فرد، تمتزج، حيث يعمل جسيم (جين) أبيض وآخر أسود معا لدى نفس الكائن، منتجين حيوانا رماديا. وتحافظ وراثة

الصفات المتميزة على الاختلاف (حيث مزجنا الحيوانات السوداء، والرمادية، والبيضاء بعد جيلين، وليست الرمادية فقط)، بينما تقلل وراثة المزج الاختلاف. وإذا كانت الوراثة مزجية، ينتج نسل تزاوج حيوان أسود وآخر أبيض حيوانات رمادية إلى ما لا نهاية. ومن الواضح أن ذلك لا يحدث. ويمكن ملاحظة ذلك بوضوح لدى البشر: لا يصبح الناس أكثر تشابها مع تواتر الأجيال ، ويتم المحافظة على الاختلاف.

ولم يعرف داروين، الذى كان رجلا أمينا تماما وواجه دائما الاعتراضات الفكرية ببسالة، شيئا عن وراثة الصفات المميزة ؛ لذلك كان منزعجا من انتقادات المهندس الأسكتلندى فليمينج جينكين. وكان جينكين يرى أن الوراثة (التى بسبب عدم إدراك حقيقتها، اعتبرها داروين وراثة مختلطة) لا تسمح بحدوث الانتخاب الطبيعى بفعالية، وحيث إن أحدا لم يكن يهتم بعد بوراثة الصفات المتميزة، كان ذلك النقد شديد الوطأة.

ما هى إذن، فى هذه الحالة، المتطلبات الرئيسية التى تجعل الانتخاب الطبيعى يحدث؟ من الواضح أننا فى حاجة إلى شىء ما يمكنه حمل "المعلومات" – وهى التعليمات فى هذه الحالة. وأهم المتطلبات أن يكون لدينا عملية للنسخ الدقيق لهذه المعلومات. وفى أغلب الحالات يكون من المؤكد أن تحدث بعض الأخطاء فى أية عملية، لكنها يجب أن تكون نادرة، خاصة إذا كان الكيان المطلوب نسخه يحمل كمية كبيرة من المعلومات. (وفى حالة الدنا أو الرنا، يجب أن يكون معدل حدوث الأخطاء، لكل زوج قاعدى فعال، لكل جيل، فى الحالات البسيطة، أقل بكثير من عدد الأزواج القاعدية الفعالة المقابلة).

والمطلب الثانى أن تنتج عملية النسخ كيانات يمكن نسخها هى نفسها بعملية أو عمليات نسخ أخرى. ولا تشبه عملية النسخ بالضرورة نسخ المطبوعات ؛ حيث يتم عمل كثير من نسخ الصحيفة من اللوحة الرئيسية (الماستر) لكن كل صحيفة لا يمكنها، اعتمادا على نفسها، أن تنتج مزيدا من النسخ سيان من المطبوعة أو الصحيفة. (وبمصطلحات فنية، فإن عملية النسخ يجب أن تكون هندسية ، وليست مجرد عملية حسابية).

والمطلب الثالث أن تكون الأخطاء نفسها – الطفرات – ممكنة النسخ، لكى يمكن المحافظة على التغيرات المفيدة بواسطة الانتخاب الطبيعى.

وهناك مطلب أخير يتمثل فى ضرورة أن تظل التعليمات ومنتجاتها معا (يجب تجنب التغذية – المتقاطعة). والحيلة المفيدة فى هذا المجال استخدام جراب – خلية فى الواقع – لكنى لن أطيل الحديث عن ذلك.

وتحتاج المعلومات أيضا إلى عمل شىء مفيد، أو إلى إنتاج أشياء أخرى تؤدى أعمالا مفيدة لهذه المعلومات، بأن تساعدها على أن تظل باقية ، وعلى أن تنتج نسلا خصيبا له فرصة جيدة فى البقاء.

وإضافة إلى ما سبق، يحتاج الكائن الحى إلى مصادر للمادة الخام (حيث إن عليه أن ينتج نسخا من نفسه)، مع القدرة على التخلص من نواتج الفضلات، ونوع ما من مصادر الطاقة (طاقة بالاعتماد على النفس). وكل هذه الصفات مطلوبة، لكن أهم شىء – كما هو واضح – عملية النسخ المطابق للأصل.

وليس هذا مجال شرح المندلية بكل تفاصيلها الفنية. وعلى كل حال، فسوف أحاول تقديم لمحة عن النتائج المدهشة التى يمكن لآلية بسيطة مثل الانتخاب الطبيعى أن تنتجها عبر فترات طويلة من الزمن ، ويمكن الحصول على هذه المعلومات أكثر اكتمالا وسهلة القراءة فى الفصول الأولى من كتاب ريتشارد داوكينز الأخير "صانع الساعات الأعمى". وقد يتعجب الإنسان من عنوان الكتاب ، ويشير "صانع الساعات" بوضوح إلى المصمم الذى استعان به بالى لشرح الساعة الخيالية الموجودة على المرج ، ولكن لماذا "أعمى"؟ لن أستطيع فعل ما هو أفضل من اقتباس كلمات داوكينز كما هى:

"تدل كل الظواهر على العكس، وصانع الساعات الوحيد فى الطبيعة هو القوى العمياء للفيزياء، مع أنها معدة بطريقة خاصة جدا . ولصانع الساعات الحقيقى تبصر: لقد صمم دواليبه وزنبركاته، ووضع خطط التوصيلات بينها وبين بعضها البعض، مع غرض مستقبلى فى مخيلته. والانتخاب الطبيعى، العملية العمياء، غير الواعية، التلقائية، التى اكتشفها داروين، والتى نعرف الآن أنها تفسر وجود نظام وهدف لكل الحياة، ليس له مأرب عقلى. ليس له عقل ولا مخيلة ، ولا يخطط للمستقبل ، ليس له بصيرة ولا تبصر، ولا بصر البتة ؛ فإذا دار الكلام حول من يمكنه أن يلعب دور صانع الساعات فى الطبيعة، فهو صانع الساعات الأعمى (ص٥)".

وقدّم داوكينز مثالا بالغ الروعة لدحض فكرة أن الانتخاب الطبيعي عاجز عن إنتاج التعقد الذى نراه فى كل ما حولنا فى الطبيعة. والمثال بسيط جدا، لكنه يفى بالغرض ؛ فهو يتأمل فى جملة قصيرة (مأخوذة من "هاملت"):

خيل إلىّ أنها تشبه ابن عرس　　　　METHINKS IT IS LIKE A WEASEL

لقد حسب أولا كيف أنه من الصعب تماما تصديق أن أى شخص، يكتب عشوائيا على آلة كاتبة (كان هذا الكاتب تقليديا قردا، لكن فى هذه الحالة كانت ابنته التى لا يتجاوز عمرها أحد عشر شهرا أو برنامج كمبيوتر مناسب) يمكن أن يدق صدفة هذه الجملة بالضبط ، مع الأحرف فى مكانها الصحيح. (قد يصل هذا الاحتمال إلى واحد لكل ١٠ أس ٤٠) ، وأطلق على هذه العملية "انتخاب الخطوة _الواحدة".

وجرب مرة أخرى مدخلا مختلفا، أطلق عليه "انتخاب تراكمى". ويختار الكمبيوتر تتاليا عشوائيا من ثمانية وعشرين حرفا ، ثم يعمل بعدئذ عدة نسخ من هذا التتالى ، ولكن مع فرصة عمل أخطاء عشوائية فى عملية النسخ ، ثم يتابع العمل ليختار النسخة التى تشبه أكثر من غيرها الجملة المطلوبة، حتى لو كان شبهها قليلا. وباستخدام هذه النسخة المعدلة قليلا ، يعيد الكمبيوتر عملية النسخ هذه (وبها الطفرة) يتبعها الانتخاب. ويقدم داوكنز فى كتابه بعض المراحل الوسطى. وفى حالة واحدة، بعد ثلاثين خطوة، أنتج:

METHINGS IT ISWLIKE B WECSEL

ويعد ثلاث وأربعين خطوة حصل على الجملة مضبوطة تماما.

ويعتبر عدد الخطوات التى تحتاجها هذه العملية أمرا يعود جزئيا إلى الصدفة. وفى تجارب أخرى احتاج الأمر إلى أربع وستين خطوة، ثم واحد وأربعين، وهكذا ... إلخ. وأهم ما فى الموضوع أنه بواسطة الانتخاب التراكمى يمكن الوصول إلى الهدف بعد عدد من الخطوات صغير نسبيا ، بينما فى انتخاب الخطوة الواحدة قد يحتاج الأمر إلى زمن لا ينتهى.

وواضح وجود مبالغة فى التبسيط فى هذا المثال، لذلك حاول داوكنز استخدام مثال أكثر تعقيدا؛ حيث نما الكمبيوتر (أشجارا) (كائنات حية) تبعا لبعض قواعد التكرار (جينات). والنتائج بالغة التعقيد بحيث يصعب عرضها هنا. ويقول داوكينز :"لم يكن فى بصيرتى البيولوجية، ولا فى خبرتى التى تمتد ٢٠ عاما فى مجال برمجة الكمبيوتر، ولا فى أكثر أحلامى طيشا، ما يجعلنى مستعدا لمواجهة ما برز فعلا على الشاشة" (ص٥٩).

وإذا كنت فى شك من قوة الانتخاب الطبيعى أنصحك، لراحة نفسك، بقراءة كتاب داوكينز. وأعتقد أنك ستجد فيه كشفا.

ويقدم داوكينز مناقشة دقيقة لاستعراض إلى أى مدى يمكن لعملية التطور أن تتم فى الزمن المتاح لها. ويشير إلى أن الإنسان، عن طريق الانتخاب، أنتج تنوعا هائلا من أنواع الكلاب، مثل البكينى، والبلدج، وغيرها، خلال آلاف قليلة من السنين. وهنا "الإنسان" هو العامل المهم فى البيئة، وكانت رغباته الغريبة وراء إنتاج (بواسطة التربية الانتقائية وليس "التصميم") غرائب الطبيعة التى نراها باقية حولنا مثل الكلاب الأليفة. وحتى الآن يعتبر الوقت اللازم للوصول إلى هذه النتائج، بالمقياس التطورى البالغ مئات الملايين من السنين، بالغ القصر ، ولذلك لا يجب أن نندهش من هذا التنوع الضخم غير المسبوق من الكائنات الذى أنتجه الانتخاب الطبيعى خلال هذا المقياس الزمنى بالغ الكبر.

وبالمناسبة، يحتوى كتاب داوكينز على نقد منصف ، لكنه مدمر (صفحات ٣٧ – ٤١) لكتاب "ترجيح الله" لهوف مونتيفيور، أسقف بيرمينجهام. وكان أول معرفة لى بهوف عندما كان عميدا لكلية كايوس فى كمبريدج، وأوافق داوكينز على أن كتاب هوف "..... محاولة مخلصة وأمينة، لكاتب محترم ومتعلم، لجعل علم لاهوت الطبيعة مواكبا للزمن" ، وأوافق أيضا من صميم قلبى على نقد داوكينز لهذا الكتاب.

وهنا يجب أن أتوقف للتساؤل حول السبب الذى يجعل كل هذه الكثرة من الناس ترى أنه تصعب الموافقة على الانتخاب الطبيعى. يعود جزء من المشكلة إلى أن هذه العملية بطيئة جدا، بمقاييس حياتنا اليومية، لذلك يندر أن تكون لدينا تجربة مباشرة

لهذه العملية وهى فى نشاطها. وقد يساعد نوع لعبة الكمبيوتر التى وصفها ريتشارد داوكينز بعض الناس فى رؤية قوة آلية هذه العملية، لكن ليس كل شخص محب للعب بالكمبيوتر. وتأتى صعوبة أخرى من التناقض الصارخ بين النتائج عالية التنظيم والتعقيد لهذه العملية - وهذا واضح فى كل الكائنات الحية التى نراها حولنا - والعشوائية الكامنة فى قلبها ، لكن هذا التناقض خادع ؛ حيث إن العملية فى حد ذاتها بعيدة عن العشوائية، بسبب الضغط الانتخابى للبيئة. وأظن أن بعض الناس أيضا لا ينفرون من فكرة أن الانتخاب الطبيعى ليس لديه بصيرة. ولا تعرف العملية، بالفعل، أين يذهب مسارها. إنها "البيئة" التى تعطى الاتجاه، وخلال المدى الزمنى البعيد يصعب بشكل كبير التكهن بتأثيراتها بالتفصيل. ومع ذلك تبدو الكائنات الحية كما لو أنه قد تم تصميمها على الأداء بطريقة مدهشة فى فعاليتها، لذلك يصعب على العقل البشرى قبول فكرة عدم الحاجة إلى مصمم للوصول لإنجاز هذا التطور. ويصعب الإحاطة بالجوانب الإحصائية لهذه العملية ولا بالعدد الهائل للكائنات الحية المحتمل وجودها، وهى جوانب بعيدة بما يفوق الحد عن إدراكها إلا إذا اختص الأمر بجزء ضئيل جدا منها ، لكن العملية تأخذ مجراها بوضوح ، ولا تعطى الاعتراضات والانتقادات التى تم رصدها أى اقتناع إذا تم اختبارها بعناية، بينما العملية مفهومة على وجهها الصحيح. ولدينا أمثلة، مختبرية وميدانية، للانتخاب الطبيعى وهو يعمل، من المستوى الجزيئى حتى مستوى الكائنات الحية والجماعات.

وأرى أنه يوجد نقدان مصيبان للانتخاب الطبيعى : الأول أننا لا يمكننا بعد أن نحسب، من المبادئ الأولية، معدل الانتخاب الطبيعى، إلا بطريقة تقريبية تماما، وقد يصبح ذلك أسهل إلى درجة ما إذا فهمنا بمزيد من التفاصيل كيف تتطور الكائنات الحية. وأنه أيضا لغريب بعض الشىء أننا منشغلون جدا بكيفية نشوء الكائنات الحية (وهى عملية يصعب دراستها ؛ حيث إنها حدثت فى الماضى وعدم القدرة على التنبؤ بها من صميم طبيعتها)، فى الوقت الذى ما نزال فيه لا نعلم بالضبط كيف تعمل حاليا. ويعتبر علم الأجنة أكثر سهولة فى دراسته مقارنة بعلم النشوء. وقد تكون الإستراتيجية الأكثر منطقية التوصل أولا، بتفاصيل معقولة، إلى كيفية تطور الكائنات الحية وكيف تؤدى عملها، وعندئذ فقط يمكن الانشغال بنشوئها، ويظل النشوء موضوعا بالغ

الجاذبية ، حتى إننا لا يمكن أن نقاوم إغراء محاولة توضيحه الآن، رغم أن معلوماتنا عن علم الأجنة ما زالت غير مكتملة إلى حد بعيد.

ويتمثل النقد الثاني فى أننا قد لا نكون على معرفة بعد بالآليات التى نشأت لتجعل الانتخاب الطبيعى يعمل بمزيد من الفعالية. وقد تكون فى انتظارنا مفاجآت حول الحيل المستخدمة لتجعل النشوء أكثر سلاسة وأكثر سرعة. وقد يكون الجنس مثالا لهذه الآلية، وقد توجد آليات أخرى لم نكتشفها بعد. وقد يسفر الدنا الأنانى- تلك الكمية الضخمة من الدنا فى كروموسوماتنا التى ليس لها وظيفة واضحة - عن كونها جزءاً من آليات أخرى (انظر ص ٢٣٠). ومن المحتمل تماما أن هذا الدنا الأنانى قد يلعب دورا أساسيا فى النشوء السريع لبعض آليات التحكم الوراثى المعقدة الأساسية لدى الكائنات الحية الأعلى.

ولكن إذا وضعنا هذه التحفظات جانبا، فإن هذه العملية تعتبر قوية، وحاذقة، وبالغة الأهمية. ومن المدهش أن يكون عدد بالغ القلة من الناس فى حضارتنا الراهنة يفهم هذه العملية حقا.

ويجوز لك أن تقبل كل هذا الجدل حول النشوء، والانتخاب الطبيعى، والجينات، مع فكرة أن الجينات وحدات أو تعليمات فى برنامج مسهب التفاصيل يشكل الكائن الحى من مرحلة البويضة المخصبة ، ويساهم فى التحكم فى أغلب سلوكياته اللاحقة. وقد تظل متحيرا. وقد تتساءل، كيف يمكن للجينات أن تكون بتلك المهارة؟ ماذا يمكن أن تفعله الجينات لتتيح نشوء كل هذه الأجزاء الجميلة المضبوطة ذات التفاصيل الهائلة لدى الكائنات الحية؟

وللإجابة عن ذلك يجب أن نفهم أولا مستوى الأحجام الذى نتحدث عنه. ما حجم الجين؟ فى الوقت الذى بدأت خلاله العمل فى مجال البيولوجيا _فى أواخر الأربعينيات - كانت توجد أدلة غير مباشرة ترى أن الجين المفرد قد لا يكون أكبر من جزىء كبير - أى ماكرو جزىء. ومن المثير للفضول إلى حد ما أن جدلا ذا دلالة مبنى على المعلومات العامة كان أيضا فى ذات الاتجاه.

وتنبؤنا الجينات، بشكل تقريبى، بأننا نحصل على نصف كل جيناتنا من أمنا، فى البويضة، والنصف الآخر من أبينا، فى الحيوانات المنوية.

ويعتبر رأس الحيوان المنوى البشرى ، وهو الذى يحتوى على الجينات، بالغ الصغر. ويبلغ صغر الحيوان المنوى الواحد حدا يجعل من الصعب رؤيته بوضوح بالعين المجردة، رغم إمكان ملاحظته بسهولة إلى حد ما باستخدام ميكروسكوب عالى القوة. ومع ذلك يجب أن يحتوى هذا الفراغ الصغير على مجموعة كاملة تقريبا من التعليمات لبناء كائن بشرى كامل (تعطى البويضة مجموعة مضاعفة). وبالتعامل مع الأرقام، لا مفر من استنتاج أن الجين يجب أن يكون، بالمعايير العادية، صغير جدا جدا، فى حجم جزىء كيميائى كبير جدا، وذلك فى حد ذاته لا ينبئنا عن ماهية الجين، لكنه يومئ إلى أنه قد يكون من الحكمة النظر أولا فى كيمياء الجزيئات الكبيرة.

وكان من المعروف أيضا فى تلك الأيام أن كل تفاعل كيميائى فى الخلية يتم تحفيزه بواسطة جزىء كبير. وكان يطلق على مثل هذه الجزيئيات الإنزيمات. والإنزيمات هى ورشة الآلات فى الخلية الحية، وتم اكتشافها أولا فى ١٨٩٧ بواسطة إدوارد بوشنير، الذى فاز بجائزة نوبل بعد عشر سنوات من اكتشافه إياها. وخلال تجاربه، سحق خلايا خميرة فى مكبس هيدروليكى، وحصل على مزيج غنى من عصائر الخميرة. وتعجب ما إذا كانت مثل هذه الشظايا من الخلية الحية يمكنها أن تنجز أى من تفاعلاتها الكيميائية؛ حيث كان أغلب الناس يرون فى ذلك الوقت أن الخلية يجب أن تكون سليمة حتى تحدث مثل هذه التفاعلات، ولأنه أراد أن يحفظ العصير، هيأ تدبيرا يستخدم فى المطبخ: أضاف محلول سكر! وهكذا تم اكتشاف الإنزيمات. (وتعنى كلمة إنزيم "فى الخميرة"). وتم التوصل بعد ذلك إلى أنه يمكن الحصول على الإنزيمات من أنواع كثيرة أخرى من الخلايا، منها خلايانا الخاصة، وأن كل خلية تحتوى على أنواع كثيرة متميزة تماما من الإنزيمات، وحتى خلية بكتيريا بسيطة قد تحتوى على أكثر من ألف نوع مختلف من الإنزيمات، ويمكن أن يكون هناك مئات أو آلاف الجزيئات من كل نوع واحد.

وفى الأحوال المناسبة يمكن تنقية أى إنزيم من الإنزيمات الأخرى ودراسة تأثيره الخاص فى محلول. وتشير مثل هذه الدراسات إلى أن كل إنزيم متخصص تماما، ويحفز تفاعلا كيميائيا خاصا واحدا أو، على أبعد تقدير، عدة تفاعلات مرتبطة به. وبدون هذا الإنزيم الخاص تستمر التفاعلات الكيميائية، فى الأحوال المعتدلة من درجة

الحرارة والحامضية الموجودة عادة فى الخلايا الحية، فقط ببطء شديد جدا. وإذا أضيف الإنزيم يتم التفاعل بمعدل جيد. وإذا أضفت النشا الماء فى محلول موزع توزيعا جيدا، صنعت محلولا موزعا توزيعا جيدا من النشا والماء، لن يحدث شيء ذو بال ، ولكن ابصق فى المحلول ستجد أن إنزيم أميلاز فى لعابك يبدأ فى هضم النشا وينتج سكريات.

وكان الاكتشاف الثانى المهم أن كل الإنزيمات التى تمت دراستها عبارة عن جزىء كبير ، وأنها جميعا تنتمى لنفس عائلة الجزيئات الكبيرة التى يطلق عليها اسم بروتينات. وتم الاكتشاف المهم فى ١٩٢٦ بواسطة الأمريكى ذى الذراع الواحدة جيمس سامنير. وليس الأمر سهلا أن تعمل فى الكيمياء ولديك ذراع واحدة (كان قد فقد الأخرى خلال حادث إطلاق نار عندما كان صبيا) لكن سامنير، الذى كان رجلا حاد التصميم، قرر أن عليه أن يبرهن - رغم كل شىء على أن الإنزيمات بروتينات. ورغم أنه أشار إلى أن أحد الإنزيمات الخاصة، البولاز، بروتين وحصل على بلورات منه، لم يتم قبول نتائجه فورا. وفى الواقع، عارضت مجموعة من الألمان العاملين فى نفس المجال بشدة هذه الفكرة ؛ مما جعل سامنير يشعر ببعض المرارة، لكن اتضح بعد ذلك أن نتائجه صحيحة. وفى ١٩٤٦ حصل على نصيب من جائزة نوبل فى الكيمياء لاكتشافه. ورغم أنه - حتى وقت قريب جدا - لم تظهر سوى استثناءات مهمة قليلة من هذا القانون، مازال صحيحا أن أغلب الإنزيمات بروتينات.

وهكذا فإن البروتينات عائلة من الجزيئات الدقيقة المتقلبة. وبمجرد شروعى فى معرفتها تأكد لدى أن أحد أهم مشاكلها توضيح كيفية تركيبها.

وكان هناك تعميم ثالث مهم، رغم أنه فى الأربعينيات كان ذلك من الجدة إلى درجة لا تجعل كل شخص ميالا إلى قبوله. وتعود هذه الفكرة إلى جورج بيدل وإدوارد تاتم. (وحصلا هما أيضا على جائزة نوبل فى ١٩٥٨ ، لاكتشافهما). بالعمل فى قالب - الخبز الصغير "فطر العصيباء المبوغة" (نيوروسبورا)، توصلا إلى أن كل طافر درساه فى ذلك الفطر كان يبدو ناقصا إنزيمًا واحداً فقط. وسكا الشعار المشهور "جين واحد - إنزيم واحد". وهكذا بدا كما لو أن الخطة العامة للكائنات الحية أصبحت واضحة.

كل جين يحدد بروتينا معينا. وتستخدم بعض هذه البروتينات لتكوين البنية أو حمل الإشارات، ويعتبر كثير منها محفزات تقرر نوع التفاعلات الكيميائية التى يجب أن تحدث وتلك التى لا يجب أن تحدث فى كل خلية. وتحتوى كل خلية فى أجسامنا غالبا على مجموعة كاملة من الجينات داخلها، ويوجه هذا البرنامج الكيميائى كيفية تأدية الخلية لعملية تمثيل عضوى، وكيف تنمو، وتتفاعل مع جيرانها، ومسلحا بكل هذه المعلومات الجديدة (بالنسبة لى)، لم أكن فى حاجة لوقت طويل للتعرف على الأسئلة المهمة، مما تصنع الجينات؟ كيف تتناسخ بالضبط؟ وكيف تتحكم، أو على الأقل، تؤثر فى تركيب البروتينات؟

وكان معروفا لبعض الوقت أن أغلب جينات الخلية موجودة فى كروموسوماتها، وأن الكروموسومات قد تكون من البروتينات النووية _أى، بروتين ودنا، وربما بعض من الرنا أيضا. وفى بداية الأربعينيات كان يُظن، وهو خطأ تماما، أن جزيئات الدنا صغيرة، وحتى بمزيد من الخطأ، أنها بسيطة. وكان فوباس ليفين، الخبير الشهير فى الحمض النووى فى الثلاثينيات، قد رأى أن لهذه الجزيئات بنية تكرارية منتظمة (التى يطلق عليها فرضية رباعية النكليوتيد). وأدى ذلك بالكاد إلى القول بأن هذه الجزيئات يمكنها بسهولة أن تحمل المعلومات الوراثية. وبالتأكيد، كما كان يظن، إذا كان للجينات مثل هذه الصفات المرموقة، فإنها تكون مصنوعة من البروتينات دون شك؛ حيث إن البروتينات كصنف من الجزيئات كان معروف عنها أنها قادرة على أداء مثل هذه الوظائف البارعة. وقد يكون للدنا فى هذه الحالة بعض الوظائف المساعدة مثل العمل كدعامة للبروتينات الأكثر تعقدا.

وكان من المعروف أيضا أن كل بروتين عبارة عن بوليمر؛ أى أنه يتكون من سلسلة طويلة، معروفة باسم عديد الببتيد، مبنية بربط جزيئات عضوية صغيرة معا، الطرف فى الطرف، تسمى أحادى القسيمة (مونمر) ؛ حيث إنها عناصر البوليمر. وفى البوليمر المتجانس (هوموبوليمر)، مثل النايلون، تكون أحاديات القسيمة (مونمر) الصغيرة متشابهة عادة. وليست البروتينات بهذه البساطة؛ فكل بروتين بوليمر متخالف (هيتيروبوليمر)، تكون سلاسله منظومة معا بمختارات من بعض الجزيئات الصغيرة المتنوعة، وهى فى هذه الحالة الأحماض الأمينية. والنتيجة النهائية، بلغة الكيمياء، أن

كل سلسلة عديدة الببتيد (بوليببتيد) لها سلسلة فقرية منتظمة تماما، مع سلاسل جانبية صغيرة ملتصقة عند مسافات منتظمة. وكان المعتقد وجود نحو عشرين سلسلة جانبية مختلفة محتملة (لم يكن العدد المضبوط معروف فى ذلك الوقت). والأحماض الأمينية (مونمر) تكون مشابهة بالضبط للأحرف فى أطقم حروف الطباعة؛ فتكون قاعدة كل نوع من الحروف فى الطاقم هى نفسها دائما، حتى يمكن أن تتناسب الأخاديد التى تمسك بنوع الأحرف المجمع معا، لكن قمة كل حرف تختلف عن الأخرى، حتى تتم طباعة حرف خاص بها؛ فكل بروتين له عدد خاص من الأحماض الأمينية، يكون عادة عدة مئات منها، لذلك يمكن اعتبار أى بروتين محدد بنوع من التقريب مثل فقرة مكتوبة بلغة ما لها نحو عشرين حرفا (كيميائيا). ولم يكن معروفا بالتأكيد، كما هو الأمر الآن، أن لكل بروتين يجب أن تكون الأحرف بنظام خاص (كما هو الحال فعلا فى أى فقرة خاصة). وتم توضيح ذلك بعد زمن قصير بواسطة عالم الكيمياء الحيوية فريد سانجير، لكن كان الأمر من السهولة بحيث يمكن تخمين أن ذلك أقرب إلى الحقيقة.

وبالطبع تكون كل فقرة فى لغتنا خطًا حقيقيًا طويلاً من الأحرف.

والأقرب إلى الصحة أنها مشققة على هيئة سلاسل من الخطوط، مكتوبة إحداها تحت الآخرى، لكن ذلك أمر ثانوى؛ حيث إن المعنى هو نفسه، سيان كانت الخطوط طويلة أو قصيرة، قليلة أو كثيرة، طالما أننا نهتم بالفصل بين الكلمات فى نهاية كل خط. وكان معروفا أن البروتينات مختلفة تماما عن ذلك؛ فرغم أن السلسلة الفقارية لعديد الببتيد منتظمة كيميائيا، فإنها تحتوى على وصلات مرنة، حتى إنه من حيث المبدأ يمكن وجود كثير من الأشكال المختلفة ذات الأبعاد الثلاثية. ومع ذلك يبدو أن كل بروتين له شكله الخاص، وفى حالات كثيرة يكون معروفا أن هذا الشكل مدمج إلى حد ما (كانت الكلمة المستخدمة "كروى") أكثر منه ممدداً تماما (أو "ليفى"). وكانت قد تمت بلورة عدد من البروتينات، وتم الحصول بهذه البللورات على نماذج تفصيلية لتحليل الأشعة السينية، أوضحت أن البنية ثلاثية الأبعاد لكل جزىء فى نوع خاص من البروتينات كان مشابها بالضبط (أو أقرب إلى التشابه) مع بنية الجزيئات الأخرى فى نفس البروتين. إضافة إلى أنه بتسخين كثيرمن البروتينات لمدة وجيزة حتى نقطة غليان

الماء، أو حتى بضع درجات حرارة تحت هذه النقطة، فقدت البروتينات خواصها،كما لو أنها بسطت بحيث تم تدمير بنيتها ثلاثية الأبعاد جزئيا. وعند حدوث ذلك تفقد البروتينات منزوعة الخواص عادة وظيفتها التحفيزية أو وظائفها الأخرى؛ مما يدعم بشدة القول بإن وظيفة مثل هذا البروتين تعتمد على بنيته ثلاثية الأبعاد نفسها.

ويمكننا الآن الدخول إلى المشكلة المستعصية التى يبدو أنها تواجهنا. إذا كانت الجينات مصنوعة من البروتين، يبدو ذلك أقرب إلى أن كل جين يجب أن تكون له بنية مدمجة خاصة فى الأبعاد الثلاثة. وهنا، يجب أن نعرف أن أهم خاصية للجين أنه يمكن نسخه بالضبط جيلا إثر جيل، مع بعض الأخطاء الاستثنائية فقط. وكنا نحاول تخمين الطبيعة العامة لهذه الآلية الناسخة. وطبعا من المعلوم أنه لنسخ أى شىء يجب عمل بناء تتميمى - قالبا - ثم عمل بناء تتميمى آخر للقالب، لإنتاج نسخة مضبوطة من الأصل. وبهذه الطريقة، كما هو معروف، يمكن بشكل عام نسخ التماثيل، ولكن مصدر الحيرة ظهر عندئذ: يمكن بسهولة طباعة الجزء الخارجي من بناء فى الأبعاد الثلاثة بهذه الطريقة، ولكن كيف يمكن، يا ترى، نسخ الجزء الداخلى؟ وبدت العملية كلها غامضة تماما إلى درجة أنه يصعب معرفة كيفية البدء فى التفكير فيها.

وبالطبع نعرف الآن الإجابة، ومن الواضح تماما أنه لا أحد يتذكر فى أيامنا هذه كم كانت هذه المشكلة تبدو محيرة فى ذلك الحين. وإذا كنت بالصدفة لا تعرف الإجابة، أطلب منك أن تتمهل لحظة لتفكر فى الإجابة المحتملة. ولا توجد ضرورة، فى هذه المرحلة، للانزعاج من التفاصيل الكيميائية. وما يهم هنا هو أساس الفكرة ، ولا يمكن تبسيط المشكلة ؛ حيث إن كثيرا من خصائص البروتينات والجينات التى سبق توضيحها لم تكن معروفة بشكل مؤكد. وكانت كلها توحى بالثقة ، ويبدو أغلبها ممكنا، ولكن، وهذا هو الأمر عادة بالقرب من تخوم البحث، كان يوجد دائما شكوك لحوحة أن يكون واحد أو أكثر من هذه الفروض خادعا بشكل خطير. وفى البحث تكون الجبهة الأمامية دائما فى أغلب الأحيان ضبابية.

وبعد، ماذا كانت الإجابة؟ مليئا بما يكفى من الفضول، توصلت إلى الحل الصحيح قبل جيم واطسون، واكتشفت بنية اللولب المزدوج للدنا. وكانت الفكرة الرئيسية (التى لم

تكن جديدة كلها) كما يلي: كل ما على الجين أن يفعله أن يحصل على تتابع الأحماض الأمينية سليما فى البروتين. وبمجرد تركيب سلسلة عديد الببتيد (بوليببتيد) السليمة، مع كل سلاسلها الجانبية فى وضعها الصحيح، يحدث، تبعا لقوانين الكيمياء، أن يطوى البروتين نفسه بشكل سليم على هيئة بنية فريدة فى الأبعاد الثلاثة. (ما هى بالضبط بنية الأبعاد الثلاثة لكل بروتين؟ هذا ما بقى تحديده). وبهذا الفرض الجرىء تغيرت المسألة من مشلكة فى الأبعاد الثلاثة إلى أخرى فى البعد الواحد، وقاربت الحيرة الأصلية على الاختفاء.

وبالطبع لم يكن ذلك حلا للمشكلة. كان مجرد نقل لها من مشكلة صعبة القياد إلى أخرى يمكن ترويضها؛ حيث كانت المشكلة مازالت موجودة: كيف يمكن عمل نسخة مضبوطة لتتابع فى البعد الواحد. وللدخول فى هذه المشكلة يجب أن نعود إلى ما هو معروف عن الدنا.

فى أواخر الأربعينيات تطورت معلوماتنا عن الدنا من عدة نواحى. كان قد تم اكتشاف أن جزيئات الدنا ليست، على كل حال، قصيرة جدا. ولم يكن واضحا كم يبلغ طولها بالضبط. ونعرف الآن أنها تبدو قصيرة؛ لأنها، لكونها جزيئات طويلة (إذا اصطلحنا على أن قطعة من خيط تعتبر طويلة)، يمكن أن تتحطم بسهولة فى عملية استخراجها من الخلية لتقليبها باليد فى أنبوب الاختبار. ومجرد تقليب محلول الدنا يكفى لكسر الجزيئات الأطول، وتمت حاليا معرفة كيمياء هذه الجزيئات بشكل أقرب إلى الصحة بكثير، إضافة إلى أن إعلان وفاة فرضية رباعية النكليوتيد (تترا نكليوتيد)، قضى عليها العمل بالغ الجمال لعالم الكيمياء فى كولومبيا، اللاجئ الأسترالى إروين شارجاف. كان معروفا أن الدنا بوليمر، ولكن بسلسلة فقرية مختلفة تماما وبأربعة أحرف فقط وليس عشرين. وأوضح شارجاف أن الدنا من مصادر مختلفة يكون فيه، على الأصح، كميات مختلفة من تلك القواعد الأربع (كما كانت تسمى). وربما لم يكن الدنا هذا الجزىء الأخرس، رغم كل ذلك. ويجب أن يكون، فى حدود التصور، ذو طول كاف وتنوع كاف لحمل بعض المعلومات الوراثية.

وحتى قبل مغادرتى الأميرالية توافرت شواهد لم تكن متوقعة حقا تشير إلى أن الدنا قريب من اللغز المحير. فى ١٩٤٤ نشر أفرى، وماكلويد، ومككارتى، الذين عملوا

فى معهد روكفلر فى نيويورك، بحثا يعلنون فيه أن "عامل التحويل transforming factor" لجرثومة الرئة يتكون من دنا نقى. وكان عامل التحويل مادة كيميائية مستخرجة من نوع من البكتيريا له غشاء ناعم. وعند إضافته إلى نوع له صلة به وينقصه مثل هذا الغشاء فإنه "يحوله" ؛ بحيث تحصل بعض البكتيريا التى تلقته على غشاء ناعم. والأكثر أهمية، أن كل سلالة هذه الخلايا لها نفس الغشاء الناعم. وكان ناشرو البحث حذرين بعض الشىء فى عرض نتائجهم، ولكن فى خطاب أصبح شهيرا الآن عبّر أفرى عن نفسه مخاطبا أخاه بمزيد من الحرية قائلا: "يبدو كما لو أنه فيروس - قد يكون جينا".

ولم يتم قبول هذه النتيجة فورا. وكان عالم كيمياء حيوية ذو نفوذ هو ألفريد ميرسكى، وكان أيضا فى روكفلر، مقتنع بأن التحول يعود إلى تلوث الدنا. فى ما بعد أشار عمل أكثر دقة بواسطة رولين هوتشكيس فى روكفلر إلى أن ذلك مستبعد تماما. وحدث جدل حول أن دليل أفرى، وماكلويد، ومككارت، كان ضعيفا؛ حيث إن صفة واحدة هى التى تم تحويلها. وأوضحت هوتشكيس أن صفة أخرى يمكن أن تتحول. ولم يدعم هذا الاتجاه الحقيقة المعروفة بأن هذه التحولات لا يوثق بها فى أغلب الأحيان، تراوغ فى إنجازها، وتغير أقلية من الخلايا فقط. وتمثل اعتراض آخر فى أن هذه العملية تحدث فقط كما هو واضح فى هذا النوع الخاص من البكتيريا. ويضاف إلى ذلك، أنه لم يلاحظ فى ذلك الوقت أن لدى أى نوع من البكتيريا جينات، رغم أن ذلك تم اكتشافه بعد ذلك بزمن قليل بواسطة جوشوا ليديربرج وإد تاتم. وباختصار، كان يخشى أن يكون التحويل من الفلتات وحالة خادعة كلما تعلق الأمر بالكائنات الحية الأعلى، ولم تكن وجهة النظر هذه غير معقولة بكاملها. وتعتبر نتفة واحدة معزولة من أحد الأدلة، مهما كانت صادمة، فتحة للشك الدائم، وتراكم عدة أنواع مختلفة الأساليب من الأدلة هو الذى يكون مقنعا.

ويقال أحيانا إنه تم تجاهل وإهمال عمل أفرى وزملاءه. كان طبيعيا وجود طيف مختلط من ردود الفعل تجاه النتائج التى توصلوا إليها، لكن يصعب القول بأنه لم يعلم بها أحد. مثال لذلك، أن تلك الجمعية المهيبة المحافظة بدرجة ما، الجمعية الملكية فى لندن، منحت نوط كوبلى لأفرى فى ١٩٤٥، منوهة بشكل خاص بعمله حول عامل التحويل، وكلى شوق لأن أعرف من كتب التنويه لهم.

ومع ذلك، حتى لو أن كل الاعتراضات والتحفظات نحيت جانبا، لا تبرهن حقيقة أن عامل التحويل هو دنا نقى فى حد ذاتها ، على أن الدنا هو وحده المادة الوراثية فى جرثومة الرئة. ويمكن القول - بشكل منطقى تماما - إن ذلك الجين كان من دنا وبروتين، كل منهما يحمل جزءاً من المعلومات الوراثية، وكانت مجرد صدفة فى النظام أنه خلال التحويل كان جزء من الدنا يحمل تعليمات تغيير الغشاء متعدد السكريات. وربما فى تجربة أخرى قد يوجد جزء من بروتين يمكنه أيضا إنتاج تغير يمكن توريثه فى الغشاء أو فى أى صفات أخرى للخلية.

وأيا كان التفسير، العائد إلى تلك التجربة والعائد إلى المعرفة المتزايدة بكيمياء الدنا، أصبح مقبولا أن تكون الجينات من الدنا فقط. وفى ذلك الوقت كان الاهتمام الرئيسى لمجموعة الباحثين فى كافندش حول البنية ثلاثية الأبعاد للبروتينات مثل الهيموجلوبين والميوجلوبين.

الفصل الرابع

ترسية القارب

دعنا نعود الآن إلى حرفتي الخاصة. كان لايزال أمامي أن أتصل بماكس بيروتز. وفي يوم ما خلال أواخر الأربعينيات كنت عائدا من كمبريدج من زيارة للندن، بعد أن رتبت للاتصال ببيروتز في مختبر الفيزياء حيث يعمل. وكانت الرحلة من لندن خالية من الحوادث المهمة. راقبت المناظر الريفية تنساب عابرة، لكن أفكاري كانت في مكان آخر، مركزة بشكل رئيسي على زيارتي الوشيكة لمختبر كافندش. بالنسبة لعالم فيزياء بريطاني كان لكافندش سحرا فريدا. يحمل المختبر اسما يعود إلى عالم الفيزياء هنري كافندش من القرن الثامن عشر، الذي كان معتكفا على العلم ومجربًا ذا عبقرية. وكان أول بروفيسور في المختبر عالم الفيزياء النظرية كلارك ماكسويل، صاحب معادلات ماكسويل الشهيرة، وحينما كان المختبر تحت الإعداد كان يجري تجاربه في مطبخه في المنزل، وكانت زوجته ترفع درجة الحرارة من أجله بواسطة غلي الماء في أواني الطبخ.

وشهد مختبر كافندش "اكتشاف" جي.جي. تومسون للإلكترون بقياس كل من كتلته وشحنته. وكان تومسون حالة مثيرة للاهتمام كمجرب أخرق حتى إن شركاءه في المختبر كانوا يحاولون إبعاده عن أجهزته خوفا من أن يكسرها. وكان إرنست رازرفورد، العائد توا من نيوزيلاندا، قد بدأ بحثه الرئيسي في مهنته هناك ثم عاد ليخلف جي.جي. بروفيسيرا في كافندش. وهناك استطاع كوكروفت ووالتون، تحت إمرته، أن "يحطما الذرة" لأول مرة – وهكذا، تم إنتاج أول تفتت ذرى اصطناعي. وكان مسرحهما الأصلي مازال هناك. وفي بداية الثلاثينيات اكتشف جيمس شادويك (الذي تعرفت إليه بعد ذلك رئيسا لكلية كايوس) النيوترون خلال عدة أسابيع. وكان مختبر كافندش في ذلك الزمان يتصدر الأبحاث في مجال الفيزياء الأساسية.

وكان بروفيسور كافندش حينئذ سير لورانس براج (المعروف لدى أقرب أصدقائه بويلى)، الذى وضع صيغة قانون براج لتحليل الأشعة السينية. وكان أصغر من حصل على جائزة نوبل حتى ذلك الوقت؛ حيث لم يتجاوز عمره خمس وعشرين سنة عندما شارك أباه سير ويليام براج فى هذه الجائزة؛ لذلك لم يكن غريبا أن أصاب بالرهبة فى مثل هذه المؤسسة ذات السمعة العالمية ، وأن أشعر بالحماس فى انتظار زيارتها.

وفى المحطة قررت أن أركب تاكسيا. وبعد أن استقرت حقائبى فى مكانها، ملت على مقعدى. قلت "خذنى" "إلى مختبر كافندش".

أدار السائق رأسه ناظرا إلى من فوق كتفه. وسأل "أين يوجد؟".

تحققت، ولم تكن تلك أول مرة يحدث فيها ذلك، أن ليس كل شخص يحمل اهتماما كبيرا بالعلوم الأساسية مثلى. وبعد تقليب فى أوراقى وجدت العنوان.

قلت "إنه فى فرى سكول لين" "أينما كان".

قال السائق "ليس بعيدا عن ميدان السوق" وإلى هناك اتجهنا.

وكان ماكس بيروتز، الذى كان علىّ زيارته، أستراليا بالميلاد. حصل على درجته العلمية الأولى، فى الكيمياء، من جامعة فيينا. وكان يرغب فى الذهاب إلى كمبريدج للعمل تحت رئاسة جولاند هوبكنز، مؤسس معهد كمبريدج للكيمياء الحيوية. وطلب بيروتز من هيرمان مارك، أخصائى البوليمر، أن يرتب له ذلك خلال زيارة قصيرة لمارك إلى كمبريدج. وبديلا عن ذلك، التقى مارك على غير انتظار جى.دى. بيرنال (المعروف لدى أصدقائه الحميمين ب "ساج" (الحكيم) لأنه يبدو عالما بكل شىء). قال بيرنال إنه سيكون سعيدا إذا عمل بيروتز معه ، وبذلك أصبح ماكس عالم بللورات. وكان كل ذلك قبل الحرب العالمية الثانية.

وفى وقت زيارتى كان بيروتز يعمل تحت الإشراف الرخو لبراج، فى التركيب ثلاثى الأبعاد للبروتينات. وكما أوضحت فى الفصل السابق، تنتمى البروتينات لإحدى العائلات الرئيسية فى الجزيئات البيولوجية الكبيرة. وتعتمد كيفية عمل البروتين على بنيته الفعلية فى الأبعاد الثلاثة؛ لذلك من المهم جدا اكتشاف تلك البنية بالتجربة.

وكان أكبر جزيء عضوى تم اكتشافه فى ذلك الزمن وتحديد بنيته فى الأبعاد الثلاثة بتحليل الأشعة السينية أصغر بمقدار مرتين عن البروتين النموذجي. وبدا التوصل إلى معرفة بنية البروتين فى الأبعاد الثلاثة، بالنسبة لأغلب علماء البللورات، أقرب إلى المستحيل، أو فى أفضل الأحوال بعيد المنال تماما. وكان بيرنال دائم الحماس لمعرفة تلك البنية، لكنه كان يميل إلى الخيال فى ذلك الوقت ، لكن ذلك الأمر كانت له جاذبية كبيرة بالنسبة لبراج العنيد؛ حيث إنه يمثل تحديا. كما أنه بدأ حياته المهنية بالتوصل إلى البنية بالغة البساطة لبللورات كلوريد الصوديوم (ملح الطعام الشائع)، كان براج يأمل فى تتويج منجزاته بحل عقدة أحد "أكبر" التركيبات الجزيئية الممكنة.

وقبل الحرب، كان بيرنال قد بدأ دراسة بللورات البروتين بالتحليل بالأشعة السينية. وفى يوم ما كان يراقب الخواص البصرية لبللورة بروتين، مستخدما ميكروسكوبيا ضوئيا (بالضبط ميكروسكوب استقطابى). وكانت البللورة موضوعة على شريحة زجاجية منزلقة مفتوحة، مع جزء صغير من السائل الأصلى للبلورة (المحلول الذى نمت فيه بلورة البروتين) ملتصق بها. وتبخر السائل الأصلى بالتدريج فى الهواء حتى جفت البللورة أخيرا. وعندما تم ذلك لاحظ بيرنال تلاشى الخواص البصرية؛ حيث نقلت البللورة الجافة غير المنتظمة الضوء بطريقة أكثر تشوشا مقارنة بالحالة السابقة. وتحقق بيرنال فى الحال أنه كان من المهم المحافظة على بللورات البروتين مبللة، وشرع فى وضع بللورة فى أنبوبة سليكون صغير محكمة السداد بشمع خاص عند كلا طرفيها. ومن حسن الحظ أن إعاقة السليكون للأشعة السينية التى تحللت من خلال البللورة كان بالغ الضآلة. ولم تنجح كل المحاولات السابقة للحصول على صور تحلل بالأشعة السينية لبللورات البروتين إلا على بضع بقع على اللوحة الفوتوغرافية؛ لأن البللورات المستخدمة كانت قد جفت فى الهواء. وكانت الإثارة بالغة فى مختبر بيرنال عندما أنتجت البللورات المبللة كثيرا من البقع الجميلة، وأخذت الأبحاث فى مجال بنية البروتين أول خطواتها الحاسمة.

وكنت قبل زيارتى الأولى لماكس بيروتز فى كافندش قد قرأت بحثين نشرهما أخيرا فى "محاضر الجمعية الملكية" عن دراسات تحلل الأشعة السينية ببللورات من

أنواع هيموجلوبين مختلفة. والهيموجلوبين هو البروتين الذى يحمل الأكسجين فى دمائنا ، ويعطى الاحمرار لخلايانا الحمراء، وإن كانت المجموعة التى درسها بيروتز من حصان؛ حيث إن هيموجلوبين الحصان يكوّن بللورات ملائمة بشكل خاص لأبحاث الأشعة السينية. ونعلم الآن أن كل جزيىء هيموجلوبين مكون من أربع وحدات فرعية متشابهة إلى حد كبير، يحتوى كل منها على نحو ٢٥٠٠ ذرة، مصفوفة فى بنية دقيقة فى الأبعاد الثلاثة.

وحيث يصعب توجيه الأشعة السينية، من المستحيل عمل صور الأشعة السينية بنفس طريقة استخدام العدسات للحصول على الصور الفوتوغرافية باستخدام الضوء المرئى أو بتوجيه إلكترونات فى الميكروسكوب الإلكترونى. ومع ذلك، يقترب طول موجة الأشعة السينية الملائمة من المسافة بين الذرات المتجاورة فى الجزيىء العضوى ، ولهذا السبب يمكن لنمط الأشعة السينية الذى تنشره الجزيئات، فى أفضل الظروف، أن يحتوى ما يكفى من المعلومات للمجرب ليحدد مواقع كل الذرات فى الجزيىء. وبمزيد من الدقة، توضح مثل هذه الصورة كثافة الإلكترونات المحيطة بكل ذرة، وحيث إن كتلها بالغة الصغر، يؤدى ذلك إلى نشر الأشعة السينية بمزيد من الفعالية مقارنة بالنواة الذرية الأثقل. ويتم استخدام البللورة؛ لأن الأشعة السينية المنتشرة من جزىء واحد قد تكون ضعيفة جدا . وإذا تم اللجوء إلى التعريض الطويل فى محاولة للتغلب على هذه المشكلة، قد تدمر الجرعة الغزيرة من الأشعة السينية الجزيىء بدرجة كبيرة ، وتقضى بفعالية عليه قبل أن ينتشر ما يكفى من الأشعة السينية لكى تصبح مفيدة.

وفى تلك الأيام كان يتم تسجيل الأشعة السينية بأفلام فوتوغرافية خاصة، تم تطويرها بنفس الطريقة تقريبا المستخدمة فى الصور الفوتوغرافية السلبية. والآن يتم التقاط الأشعة السينية وقياسها بواسطة العدادات. وتقوم كاميرا خاصة بتحريك البللورة فى حزمة الأشعة، ومعها فيلم الأشعة السينية، بهدف تسجيل جزء خاص من بيانات تحليل الأشعة فى كل مرة.

ورغم أننى تعلمت كل ذلك عندما حصلت على بكالوريوس العلوم فى الطبيعة، كنت قد نسيت أغلب تلك المعلومات حينئذ، ولم أستطع سوى الحصول على فكرة غامضة

فقط حول ما كان يفعله بيروتز. عرفت أن بللورات البروتين تحتوى داخلها على كمية كبيرة من الماء ، تلتهم بنهم الفراغات الفاصلة فى البللورة بين جزيىء كبير والجزيئات المجاورة له. وفى الطقس الأكثر جفافا قد تتقلص البللورة بدرجة ما، فى الوقت الذى تتجمع فيه جزيئات البروتين مقتربة من بعضها البعض، وكانت مراحل التقلص هذه هى التى درسها بيروتز ؛ فإذا كان الطقس جاف جدا، يمكن لتجميع الجزيئات أن يختلط، عندما تحاول الجزيئات الضخمة عبثا أن تتقارب من بعضها إلى أقصى درجة ممكنة. وقد يتلف عندئذ نمط تحليل الأشعة السينية الرائع، بما فيه من بقع متميزة حادة، ويصبح بضع لطخات على فيلم الأشعة السينية. وفى التحليل، تنتج البناءات المنتظمة فى الأبعاد الثلاثة سلسلة كاملة من البقع المميزة، كما وصفها براج قبل ذلك بعدة سنوات.

وعرفت أيضا المشكلة الرئيسية للأشعة السينية فى علم البللورات حتى لو تم قياس قوة كل بقع الأشعة السينية المتعددة (فى تلك الأيام كان يتم الحصول على كم هائل منها) وحتى لو كانت الذرات فى البللورة على درجة من الانتظام تجعل بقع الأشعة السينية تلك مناظرة لتفاصيل دقيقة يتم أيضا تسجيلها، أشارت الرياضيات بوضوح أن البقع تحتوى على نصف المعلومات فقط المطلوبة لكشف البنية فى الأبعاد الثلاثة. (وبالمصطلحات الفنية ، تعطى البقع كثافات كل مركبات فوريير **Fourier components** المتعددة ، لكنها لا تعطى أطوارها **phases**) . وإذا أمكن ببعض السحر معرفة موقع كل ذرة، كان من الممكن (رغم أن ذلك كان فى تلك الأيام يقتضى جهدا) عمل حساب مضبوط للكيفية التى يمكن أن يكون عليها نمط تحليل الأشعة السينية، وحساب أيضا المعلومات المفقودة – الأطوار ، ولكن مع توافر البقع فقط، أشارت النظرية إلى أن كثيرا جدا جدا من التنظيمات الممكنة فى الأبعاد الثلاثة لكثافة الإلكترون يمكنها أن تعطى بالضبط نفس البقع، ولم يكن هناك طريقة سهلة لتقرير أيها هو التنظيم الصحيح.

وتم التوصل حاليا، بشكل رئيسى بواسطة أعمال جيروم كارل وهربرت هويتمان، إلى كيفية معرفة التنظيم الصحيح بالنسبة للجزيئات الصغيرة بوضع عدة قيود طبيعية إلى حد ما على الرياضيات. وحصلا بسبب ذلك العمل على جائزة نوبل فى الكيمياء فى

١٩٥٨، ولكن حتى فى أيامنا هذه، لا يمكن استخدام مثل هذه الطرق، وحدها، للجزيئات الكبيرة وهى بحجم أغلب البروتينات.

لذلك لم يكن مدهشا أن بيروتز لم يحرز تقدما كبيرا فى أواخر الأربعينيات. وأنصتُ جيدا لتوضيحاته حول عمله، بل وجازفت ببعض التعليقات، وجعلنى ذلك أبدو أكثر حدة فى ملاحظاتى وأكثر سرعة فى الفهم مما كنت عليه حقا. وعلى أية حال، تركت انطباعا لدى بيروتز كاف ليرحب بفكرة انضمامى إليه، مع الأخذ فى الاعتبار أن مجلس الأبحاث الطبية سيدعمنى.

وفى ١٩٤٩ تزوجت وأوديل. كنا قد تقابلنا أول مرة خلال الحرب عندما كانت ضابطا بحريا _على وجه الدقة ضابط بحرية ملكية نسائية WREN (المرادف البريطانى لـ WAVES الخدمة البحرية للنساء). ومع اقتراب المرحلة الأخيرة من الحرب عملت فى مركز قيادة الأميرالية فى هوايتهول (الشارع الحكومى الرئيسى فى لندن)، مترجمة للوثائق الألمانية التى يتم الاستيلاء عليها.

وعادت بعد الحرب طالبة فنون كما كانت من قبل، وهذه المرة فى معهد سانت مارتين للفن، فى طريق شيرنج كروس، غير البعيد عن هوايتهول. وكنت أنا نفسى أعمل عندئذ فى وايتهول، فى المخابرات البحرية، لذلك كان من السهل أن نتقابل. وكان الطلاق قد تم بينى وبين دورين فى ١٩٤٧ . ونقلت أوديل إلى دراسة جديدة لتصميم الأزياء فى الكلية الملكية للفن، لكنها قررت بعد السنة الأولى أنها تفضل الزواج على مزيد من الدراسة.

وقضينا شهر العسل فى إيطاليا. وبعد رجوعنا فقط اكتشفت أن المؤتمر الدولى الأول للكيمياء الحيوية قد بدأ فى كمبريدج خلال سفرنا. ولم تكن تلك الأيام تشهد كثيرا من اللقاءات العلمية كما هو الأمر الآن. وكمبتدئ فى الأبحاث، أقرب إلى الهاوى، لم أكن متنبها بشكل خاص حتى لتلك اللقاءات التى تتم، وأظن أنه كانت توجد فكرة فى خلفية عقلى فحواها أن العلم كان عملا للسادة (جنتلمان) (حتى لو كانوا سادة فقراء). وكما قد يبدو غير قابل للتصديق، لم أتحقق من أنه بالنسبة للكثيرين كان العلم مهنة التنافس الشديد.

وعاشت عائلة بيروتز بعض الوقت فى شقة قليلة الأثاث ملائمة تماما بالقرب من وسط كمبريدج، وتحتاج دقائق قليلة فقط سيرا على الأقدام من كافندش. وكانوا يخططون عندئذ للانتقال إلى بيت فى الضواحى، بحثا عن مزيد من الاتساع، واقترحوا علينا أن نحل محلهما. وابتهجنا بالفكرة وانتقلنا إلى جرين دور، كما كان يسمى، إلى شقة من حجرتين ونصف حجرة ومطبخ صغير، أعلى أولد فيكاراج، بعد كنيسة سانتكليمينت فى شارع بريدج، بين نهاية بورتوجال بلاس وتومبسون لان. وكان المالك -بائع تبغ- وزوجته يعيشان فى الجزء الرئيسى من البيت ، وكنا نشغل العلية. وكان جرين دور الفعلى فى الطابق الأرضى، فى الخلف، يؤدى إلى درج ضيق يصعد إلى مكان حجراتنا. وكان حوض الاغتسال والمرحاض فى منتصف المسافة أعلى هذه السلالم والحمام، المغطى بلوح معلق بمفاصل، مدسوس فى المطبخ الصغير. وكان من الضرورى غالبا إزاحة مجموعة متنوعة من القدر الصغيرة والأطباق إذا أراد أحدنا الاستحمام. وأعدت إحدى الغرف لتكون غرفة معيشة، والأخرى غرفة نوم، وتم استخدام الغرفة الأصغر غرفة نوم لابنى ميشيل، عندما كان يأتى إلى المنزل فى العطلات من مدرسته الداخلية.

وتعودت أنا وأوديل على تناول فطورنا المتمهل عند نافذة العلية فى غرفة المعيشة الصغيرة، ناظرين إلى الخارج من الجبانة إلى شارع بريدج حتى كنيسة كلية سانت جون. وكان مرور السيارات بالغ الندرة فى ذلك الزمن، مع كثرة الدراجات. وكان يحدث أحيانا فى المساء أن نسمع بومة تنعق فى أحد الأشجار المحيطة بالكلية. وكان دخلنا صغيرا، ولكن لحسن الحظ كان الأيجار منخفضاً أيضا، رغم أن الشقة مؤجرة مأثثة. واعتذر مالك المنزل باستفاضة عندما شعر بأنه مجبر على رفع إيجارنا من ثلاثين شلنا أسبوعيا إلى ثلاثين شلنا وست بنسات. وتمتعت أوديل بوقت الفراغ الجديد الذى حصلت عليه، بقراءة الروايات الفرنسية أمام نيران موقد غاز صغير، وحضرت، بشكل غير رسمى، عدة محاضرات حول الأدب الفرنسى، فى الوقت الذى استمتعت فيه من جانبى برومانسية إنجاز أبحاث علمية حقيقية وبجاذبية موضوع بحثى الجديد.

كان أول ما يجب أن أعمله تعليم نفسى استخدام الأشعة السينية فى علم البللورات، من الناحيتين النظرية والعملية. ونصحنى بيروتز بالكتب الدراسية التى يجب

أن أقرأها، ورأيت عناصر تركيب البللورات والتقاط صور بالأشعة السينية. ويعطى الفحص البسيط لأجزاء من نمط التحليل بالأشعة السينية عادة، بأسلوب سهل إلى حد ما، ليس فقط الأبعاد المادية لوحدة الخلية _الوحدة المتكررة فى الفراغ – لكنه يكشف أيضا شيئا عن التناظر، ولأن الجزيئات البيولوجية يكون لها غالبا "يدوية يمينية أو يسارية handedness " – لا توجد صورها المرآتية عادة فى الكائنات الحية – لا يمكن أن تحدث بعض عناصر التناظر (التعاكس حول مركز، الانعكاس، ومستويات الانسياب المرتبطة بها) فى بللورات البروتين. وتقلل هذه التحديدات بدرجة كبيرة العدد المحتمل لمجموعات التناظر، أو مجموعات الفراغ، كما يطلق عليها.

وتوجد أيضا تحديدات معروفة جيدا في محاور الدوران. يمكن لورق الحائط أن يكون له محور دوران مضاعف – ويبدو متماثلا إذا تمت إدارته ١٨٠ درجة – أو ثلاثة أضعاف ، أربعة أضعاف ، أو ستة أضعاف. وكل محاور الدوران الأخرى مستحيلة، ومنها خمسة أضعاف. وهذه القيود حقيقية لأى نمط ممتد ذى تناظر فى البعدين، المعروف باسم مجموعة المستوى، وينطبق ذلك أيضا على التناظر الممتد فى الأبعاد الثلاثة، أو مجموعة الفراغ. وبالطبع يكون للشيء المفرد تناظر خماسي. وكان الشكل المجسم المنتظم ذو الاثنى عشر سطحا والشكل المجسم المنتظم ذو العشرين وجها معروفين لدى اليونان، لكن المسموح به لمجموعة النقطة (التى لا أبعاد لها) غير ممكن لمجموعة السطح (ذات البعدين) أو مجموعة الفراغ (ذات الأبعاد الثلاثة). ويتصف الفن الإسلامي، الممنوع لأسباب دينية من تصوير البشر أو الحيوانات (لأن النبى كان معادياً جدا للوثنية) بأنه لهذا السبب ذو تصميم هندسي بدرجة كبيرة. ويمكن أحيانا مشاهدة الفنان يظهر التناظر الخماسي فى موضع واحد ولا ينفذه أبدا باللجوء إلى التكرار. وكما تبين، فإن الأغلفة البروتينية لكثير من الفيروسات الصغيرة "الكروية" (مثل فيروس شلل الأطفال) لها عادة تناظر خماسي، لكن هذه قصة أخرى.

وتعتبر نظرية تحلل الأشعة السينية بالبللورات نظرية سهلة، من السهولة حتى إن أغلب علماء الفيزياء المعاصرين يجدونها أقرب ما تكون إلى الغموض. ورغم ضرورة توافر القدرة على التعامل مع التفاصيل الجبرية، سرعان ما وجدت أننى قادر على إجابة كثير من تلك المشاكل الرياضية بالدمج بين التصور والمنطق، دون الاسترسال المجهد منذ البداية فى الرياضيات.

وبعد عدة سنوات، عندما انضم إلينا جيم واطسون فى كافندش، استخدمت بعض هذه الطرق التصورية، المبنية على الرياضيات الأكثر عمقا، لتعليمه صورة مجملة عن تحلل الأشعة السينية. حتى إننى فكرت فى كتابة رسالة تعليمية قصيرة عن هذا الموضوع، ليكون عنوانها "تحولات فوريير لراصدى الطيور" (جيم أصبح عالما فى البيولوجيا ؛ لأنه كان لديه اهتمام مبكر بمراقبة الطيور)، لكن كان هناك الكثير من الانشغالات فلم أكتب هذه الرسالة أبدا.

وفى ذلك الوقت لم يكن متوافرا كتاب دراسى له هذا الاتجاه. وكانت النصوص الموجودة تستخدم غالبا طريقة الخطوة خطوة، المعتمدة بشكل أساسى على قانون براج والتطور التاريخى للموضوع. وبالنسبة لشخص مثلى لم يتجاوز الأمر مواجهتى مزيدا من الصعوبة وكثير من الملل بالتأكيد ؛ حيث إن أية طريقة أولية تسبب عادة أسئلة أكثر صعوبة لطالب العلم ويمكن لهذه الهموم أن تعوق تقدمه فى التعلم. ومن الأفضل غالبا، على الأقل لأكثر الطلاب ذكاء، اللجوء مباشرة إلى المعالجة المتقدمة ومحاولة التغلب على الشكليات الأقوى مع المحاولة فى نفس الوقت الحصول على بعض التبصر حول فحوى الموضوع. وفى حالتى لم يكن هناك خيار آخر إلا تعليم نفسى التحليل بالأشعة السينية. وكان ذلك مفيدا حيث اكتسبت معرفة دقيقة إلى حد ما وجديرة بالثقة بهذا الموضوع. إضافة إلى ذلك، كان بيروتز يدرس مراحل تقلص البللورة المكونة من جزيئات كبيرة، لذلك تعلمت كيفية التعامل مع تحلل الأشعة السينية من جزيىء مفرد، ثم صفها عندئذ فقط على هيئة شبكية بللورة منتظمة، ويختلف ذلك عن اتباع المسار الأكثر تقليدية الذى يبدأ بهذه الجزيئات وهى على هيئة شبكية، واتضح لاحقا أن هذه الطريقة كانت الأفضل بالنسبة لى.

ومسلحا بتلك المعلومات، أعدت قراءة بحث بيروتز، وأمضيت وقتا أفكر فى كيفية حل مشكلة بنية البروتين. وكان بيروتز قد اقترح من باب التجربة أن شكل الجزىء يشبه بطريقة ما صندوق قبعة نسائية من الطراز القديم، ووضع هذا الرسم التوضيحى فى أول أبحاثه. (بالمناسبة، يصعب عادة رسم الرسومات التوضيحية للنماذج على وجه مرض ؛ حيث إنه بدون العناية الكافية، تعبر عادة عن أكثر من مقصد واحد). ولأسباب متعددة رأيت أن صندوق القبعة لا يبعث على الثقة، وحاولت البحث عن دليل على وجود أشكال أخرى ممكنة.

يذكّر أن معلومات الأشعة السينية المرتبطة بموضوعنا لا يمكنها بذاتها أن تنبئنا عن الشكل المطلوب، لكن أى شكل صحيح مقترح يمكن استخدامه لحساب معلومات الأشعة السينية، ويؤثر الشكل فقط على تحليلات الأشعة السينية القليلة المناظرة للبنية الفجة للبللورة، وتعتمد قوتها على التباين بين كثافة الإلكترون المرتفعة للبروتين وكثافة الإلكترون الأكثر انخفاضا "للماء" (وهو فى الواقع محلول ملحى) ما بين الجزيئات. وحتى فى حالة توافر مثل هذه الصورة منخفضة التحليل لكثافة الإلكترون، لن تعطى فورا شكل جزىء مفرد ؛ حيث إنه فى المواقع المختلفة تكون جزيئات البروتين متقاربة.

ولا يمكن مشاهدة موقع انتهاء جزىء وبدايَة التالى له. ولحسن الحظ كان بيروتز قد درس مجموعة من اللفائف المتشابهة – المراحل المتعددة للتقلص – وباعتبار جزيئات البروتين صلبة نسبيا ومتجمعة فحسب معا باختلافات بسيطة فى المراحل المختلفة، يمكن أن يكون مجال الأشكال الممكنة محدودا.

وتوصلت إلى بعض النجاح فى المشكلة الرئيسية ثم توقفتُ. وأثناء ذلك كان براج يفكر بشكل مستقل فى نفس الأمر، وبينما توقف نشاطى أحرز هو نجاحا سريعا. افترض بجرأة أنه يمكن تقريب الشكل إلى قطع ناقص – نوع بسيط خاص من الكرة المحرفة، ثم فحص القليل المعروف من بللورات هيموجلوبين أنواع الحيوانات الأخرى، معتبرا أن كل أنواع جزيئات الهيموجلوبين تميل إلى أن يكون لها نفس الهيئة. إضافة إلى ذلك، لم يكن يشعر بقلق إذا لم تتوافق البيانات تماما مع نموذجه ؛ حيث كان من غير المرجح أن الجزىء قطع ناقص تماما. وبوضوح أكثر فإنه قدم افتراضات جريئة مبسطة، يمكن أن تناسب مدى واسع بقدر الإمكان من المعلومات، وكان نزاعا إلى الانتقاد، لكنه لم يكن دقيقا، مثلى، فى ما يتعلق بالتوافق بين النموذج والحقائق التجريبية. وتوصل إلى شكل نعرف الآن أنه ليس تقريبا سيئا للشكل الحقيقى للجزيىء، ونشر هو وبيروتز بحثا حول ذلك. ولم تكن للنتيجة أهمية من الدرجة الأولى، حتى لو كان السبب أن الطريقة كانت غير مباشرة، وتحتاج دعما بمزيد من الطرق المباشرة، لكنها كانت كشفا بالنسبة لى فى مجال كيفية إجراء البحث العلمى، وما هو أهم من ذلك، كيفية عدم إجرائه.

وحيث إننى تعلمت المزيد بخصوص المشكلة الرئيسية، بدأت أقلق حول كيفية حلها. وكما قلت، تحتوى معلومات الأشعة السينية على نصف المعلومات الضرورية فقط، رغم أنه كان معروفا أن بعض هذه المعلومات المتوافرة قد يكون زائدا عن الحاجة. هل كانت توجد طريقة مرتبة لاستخدام المعلومات المتاحة؟ اتضح أن ذلك كان ممكنا. وقبل ذلك بسنوات كان عالم البللورات ليندو باتيرسون قد أشار إلى أن المعلومات التجريبية يمكن استخدامها لعمل مخطط كثافة خاص، يطلق عليه الآن "باتيرسون". (يتم تعديل سعة مركبات فوريير وجعل كل الأطوار صفرا).

ماذا يعنى مخطط الكثافة ذاك؟ يوضح باتيرسون أنه يمثل كل المسافات ما بين النهايات العظمى الممكنة فى مخطط كثافة الإلكترون الحقيقى، كل المتراكبات ؛ بحيث إذا كان تردد كثافة المخطط الحقيقى فيه كثافة عالية عند مسافة ١٠ أنجستروم على حدة فى اتجاه محدد، فإنه يوجد نهاية عظمى عند ١٠ أنجستروم من الأصل فى اتجاه ملائم على مخطط باتيرسون. (وحدة أنجستروم واحدة تساوى واحد من عشرة بلايين من المتر). وبالتعبيرات الرياضية، سيكون ذلك مخططا فى الأبعاد الثلاثة لدالة تبادلية ذاتية لكثافة الإلكترون. وفى حالة الخلية الواحدة التى تتكون من قليل جدا من الذرات، وباستخدام معلومات الأشعة السينية عالية التحليل، يمكن أحيانا إعادة تنظيم هذا المخطط لكل الترتيبات الذرية الممكنة. وا أسفاه، بالنسبة للبروتين فإن له ذرات كثيرة جدا وكان تحليله ضعيف جدا، من هنا لم يكن هنالك أدنى أمل فى تنفيذ ذلك. ومع ذلك يمكن للسمات القوية فى "باتيرسون" أن تلوّح بالملامح الإجمالية فى الترتيبات الذرية، وكان بيروتز قد تنبأ فعلا بأن البروتين مطوى ليتيح امتدادات كالقضبان لكثافة الإلكترون، الموجودة فى اتجاه خاص ؛ لأنه رأى قضبانا ذات كثافة مرتفعة فى هذا الاتجاه فى "باتيرسون"، وكما اتضح لم تكن القضبان عند النهايات بالارتفاع الذى تصوره (لم يكن لديه فى ذلك الوقت سوى الشدة النسبية لبقع الأشعة السينية، وليس قيمها المطلقة) من هنا لم يكن الطى بالبساطة التى توقعها.

كان حساب باتيرسون هذا لبللوراته من هيموجلوبين الحصان نوعا من العمل الصعب والمجهد ؛ حيث إن الطرق التى كانت مستخدمة عندئذ، فى كل من جمع بيانات الأشعة السينية وحساب تحويلات فوريير، بدائية تماما، بالمقاييس المعاصرة. كان يجب

وضع كثير من البللورات (حيث إن أى منها قد يتلقى فقط جرعة من الأشعة السينية قبل فسادها)، التقاط كثير من صور الأشعة السينية، علامات عرضية للمعايرة، القياس بالعين المجردة، وعمل تصحيحات بانتظام. ولم تكن الحسابات تتم بما نطلق عليه الآن كمبيوتر (الذى جاء لاحقا) ولكن باستخدام ماكينة بطاقات مثقبة "أى.بى.إم"، واحتاجت الحسابات مساعدا لمدة ثلاثة أشهر، وكانت مجهدة جدا.

عندئذ بدأ وضع كل الأرقام التى تم الحصول عليها على الأوراق ورسم الخطوط المحيطة بالأشكال الناتجة، حتى انتهى أحد هذه الأعمال أخيرا إلى كومة من الأوراق الشفافة، كل منها يحمل قسما من كثافة باتيرسون موضحة عليها بواسطة الخطوط المحيطة، وأذكر أنه تم حذف الخطوط المحيطة السلبية (تم اعتبار الارتباط المتوسط صفرا) وتوقيع الخطوط الإيجابية على الأوراق.

وتلقيت درسا آخر عندما شرح بيروتز نتائجه لمجموعة صغيرة من علماء بللورات الأشعة السينية من مناطق عدة فى بريطانيا اجتمعوا فى كافندش. وبعد المقدمة التى ألقاها عليهم نهض بيرنال للتعليق عليها. ونظرت إلى بيرنال كعبقرى. ولبعض الأسباب كانت تسيطر علىّ فكرة أن كل العباقرة يسلكون بشكل سئ، لذلك كنت مندهشا من سماعه وهو يثنى على بيروتز بأكثر الطرق لطفا لشجاعته فى القيام بمثل هذه المهمة الصعبة وغير المسبوقة، فى ذلك الوقت، ودقته والجهد الكبير الذى بذله فى استكمال هذه المهمة حتى نهايتها. وبعد ذلك فقط خاطر بيرنال بالإفصاح عن بعض تحفظاته، بألطف الطرق الممكنة، تجاه طريقة باتيرسون وذلك المثال عنها بشكل خاص. وتعلمت أنه إذا كان لديك رأى حرج تريد قوله حول جزء من عمل علمى؛ فمن الأفضل أن تقوله بحسم ولكن بلطف، وأن تقدمه بالثناء على أى جانب جيد من جوانبه.

ورغبت دائما فى الالتزام بهذه القاعدة المفيدة. ولسوء الحظ كنت أندفع أحيانا متأثرا بنفاد صبرى لأعبر عن نفسى بخفة بالغة بطريقة مدمرة تماما.

وحدث فى هذه الحلقة الدراسية أن ألقيت أولى كلماتى حول علم البللورات. ورغم أننى كنت قد تجاوزت الثلاثين عاما من عمرى كانت هذه هى الحلقة البحثية الثانية فقط التى حضرتها حتى ذلك الوقت، وكانت الأولى حول الجزيئات المغناطيسية المتحركة فى

البروتوبلازم. وارتكبت الخطأ الشائع بين المبتدئين بمحاولة تقديم أكبر كمية من المادة خلال الدقائق العشرين المخصصة، وكنت من الارتباك لدرجة أننى لم ألاحظ، بعد أن قاربت منتصف كلامى، أن بيرنال كان يتململ وغير منتبه بالقدر الكافى. ولم أعرف إلا لاحقا أنه كان مشغولا بمكان وجود شرائحه التى أعدها لكلمته، والتى كان عليه إلقاؤها بعد كلمتى.

وكانت عواقب ما حدث قليلة مقارنة بموضوع حديثى، ومجمل القول، أنهم كانوا جميعا يضيعون وقتهم، وأنه - بناء على تحليلاتى - فإن غالبية الطرق التى داوموا عليها ليس لها أى فرصة للنجاح. واستعرضت كل طريقة على حدة، بما فيها طريقة باتيرسون، محاولا التوصل إلى أنها جميعا ميئوس منها ما عدا واحدة فقط. وكان الاستثناء يتمثل فى طريقة يطلق عليها الإبدال متماثل الشكل isomorphous replacement ؛ حيث توصلت حساباتى إلى أن له بعض فرص النجاح، إضافة إلى إمكانية إجرائه كيميائيا.

وكما أشرت فى البداية، تعطينا معلومات تحلل الأشعة السينية عادة نصف المعلومات تقريبا التى نحتاجها لإعادة بناء صورة الأبعاد الثلاثة لكثافة إلكترون البللورة. ونحتاج إلى هذه الصورة فى الأبعاد الثلاثة لتساعدنا فى تحديد مكان عدة آلاف من الذرات فى البللورة. هل توجد أية طرق للحصول على الجزء الناقص من المعلومات؟ اتضح أن تلك الطرق موجودة. افترض أنه يمكن إضافة ذرة ثقيلة جدا، مثل ذرة الزئبق، إلى البللورة عند نفس البقعة على كل جزيىء بروتين تحتوى عليه. وافترض أن هذه الإضافة لن تعوق الترابط المشترك بين جزيئات البروتين، لكنها تزيح جزيىء ماء واحد عرضا أو اثنين. عندئذ يمكننا الحصول على نموذجين للأشعة السينية مختلفين: أحدهما لا يوجد فيه زئبق والآخر بالزئبق. وبدراسة الفروق بين النموذجين يمكننا، إذا حالفنا الحظ، تحديد مكان ذرات الزئبق فى البللورة (وبدقة، فى الخلية الواحدة). وبالعثور على تلك المواقع، يمكننا الحصول على بعض المعلومات الناقصة بمعرفة ما إذا كان الزئبق، بالنسبة لكل بقعة أشعة سينية، قد جعل البقعة أضعف أو أقوى.

وهذه هى الطريقة التى يطلق عليها الإبدال متماثل الشكل. و"إبدال" لأننا أبدلنا ذرة خفيفة أو جزىء، مثل الماء، بذرة ثقيلة، مثل الزئبق، مما يحلل الأشعة السينية

بشكل أكثر قوة و"متماثل الشكل" ؛ لأن كلاً من بللورتى البروتين، إحداهما بالزئبق والأخرى بدونه، يجب أن يكون لهما نفس الشكل (بالنسبة للخلية الواحدة). وبشكل فضفاض، يمكننا اعتبار إضافة ذرة ثقيلة أنه يمثل علامة يمكن تحديدها لمساعدتنا فى العثور على طريقنا خلال الذرات الأخرى الموجودة. ويتضح أننا نحتاج عادة على الأقل إلى عمليتى إبدال متماثل الشكل مختلفتين يتيحا لنا استعادة أغلب المعلومات الناقصة، ويفضل ثلاث عمليات أو أكثر.

وكانت هذه الطريقة المعروفة جيدا تستخدم فعلا بنجاح للمساعدة فى حل مسألة بنية الجزيئات الصغيرة. وكانت هناك سابقا محاولة أو محاولتان تعوزهما الحماسة لاستعمال هذه الطريقة مع البروتينات، لكنهما فشلتا، وقد يعود ذلك إلى أن قواعد الكيمياء التى تم استخدامها كانت غير متقنة. ولم أوفق أيضا فى عنوانى. كنت قد أبلغت جون كيندرو ما أنوى قوله وسألته عن عنوان مناسب. قال "لما لا تطلق عليه "ياله من سباق محموم!" (مقتطف من كيتس "قصيدة غنائية عن إبريق يونانى") _وهذا ما فعلته.

وغضب براج. ها هو هذا الوافد الجديد يقول لعلماء بللورات الأشعة السينية الخبراء - بمن فيهم براج نفسه، الذى أسس موضوع البحث، وتصدر العاملين فيه لنحو أربعين عاما- إن ما يفعلونه لا ينبئ - على أبعد تقدير- عن إمكانية التوصل إلى أية نتائج مفيدة. ولم يدعمنى فى ذلك الموقف واقع أننى أفهم بوضوح نظرية ذلك الموضوع، وأننى كنت مستعدا حقا للاستفاضة فى الحديث عنه بإفراط. وكنت قبل ذلك بقليل جالسا خلف براج، قبل بدء المحاضرة بقليل، وأفصحت لجارى عن انتقادى المعتاد للموضوع بطريقة استهزائية إلى حد ما. والتفت براج خلفه ليقول لى من فوق كتفه "كريك .. إنك ترج القارب".

وكان هناك بعض المبررات لانزعاجه. لا تتم مساعدة مجموعة من الناس منشغلين فى مهمة صعبة وغير مؤكدة النتائج إلى حد ما، بالتمادى فى النقد السلبى من قبل أحد من مجموعتهم. إن ذلك يدمر مزاج الثقة الضرورى لمواصلة مثل هذا المشروع المليء بالمخاطرة حتى الوصول إلى نتيجة ناجحة. ومن جهة أخرى لا فائدة من الإصرار على

مسلك فى العمل محكوم عليه بالفشل، خاصة إذا توافرت طريقة بديلة. وكما اتضح، كنت على حق تماما فى كل انتقاداتى باستثناء انتقاد واحد. أخطأت تقدير فائدة دراسة الببتيدات الصناعية (المرتبطة من بعيد بالبروتينات) البسيطة، المتكررة، التى أعطت بعد وقت قصير بعض المعلومات المفيدة، لكننى كنت على حق تماما فى توقع أن طريقة الإبدال متماثلة الشكل يمكنها أن تعطينا بنية تفصيلية للبروتين.

وكنت لاأزال، حتى ذلك الحين، طالب دراسات عليا مبتدئ. وبتوجيه صدمة ضرورية جدا إلى زملائى حولت انتباههم إلى الاتجاه الصحيح. وفى السنوات اللاحقة تذكر قليل من الناس ذلك أو أثنوا على إسهامى سوى بيرنال، رغم أنه أشار إلى عملى هذا أكثر من مرة. وبالطبع لم يكن هنالك مناص من بروز وجهة نظرى على المدى البعيد، ولم يكن علىّ سوى خلق بيئة طيبة، وهذا ما حدث بعد قليل. ولم أكتب نقدى أبدا، رغم أن مذكراتى عن المحاضرة ظلت موجودة عدة سنوات. وكانت النتيجة الرئيسية التى تهمنى أن براج بدأ يرانى شخصا مزعجا لا يتابع إجراء التجارب، ويتكلم كثيرا وبطريقة شديدة النقد، ولحسن الحظ غيّر هذه النظرة بعد ذلك.

ولم أكن، بالمناسبة، وحدى الذى يحمل ذلك الرأى. وفى تلك الأيام كان أغلب علماء البلورات يعتقدون أن علم بلورات البروتين لا فائدة منه، أو أن من المرجح أن يحقق ثماره فى القرن المقبل، ولهذا السبب كانوا يذهبون بعيدا بتشاؤمهم. وكان لدىّ على الأقل معرفة دقيقة بالموضوع، ويمكننى أن أرى طريقة محتملة لحل المشكلة. ومن المشوق أن نلاحظ الموقف العقلى الفضولى للعلماء وهم يعملون فى موضوعات "ميؤوس منها". وبعكس ما يمكن لأى شخص أن يتوقعه من الوهلة الأولى، تنتعش روحهم المعنوية بالتفاؤل الذى لا يمكن إخفاؤه. وأرى أن لذلك تفسيراً بسيطاً. أى شخص بدون هذا التفاؤل يترك مجال العمل ويلتحق بأى نوع آخر من الأعمال. ولا يبقى سوى المتفائلون؛ لذلك توجد الظاهرة الغريبة أن العاملين فى موضوعات ترصد لها جوائز كبيرة، لكن توقعات النجاح فيها قليلة جدا، يبدون دائماً متفائلين. ويحدث ذلك رغم حقيقة أنه، رغم ضخامة الجهود التى يبدو أنها تتم، لا يظهر عليهم أبدا أنهم يحرزون اقترابا ملموسا من هدفهم. ويبدو لى أن أجزاء من البيولوجيا العصبية تتصف بالضبط بهذه الصفة.

ومن حسن الحظ أن حل مشكلة بنية البروتين بتحلل الأشعة السينية لم يكن بلا أمل كما بدا للبعض. وفى ١٩٦٢ فاز ماكس بيروتز وجون كيندرو مشاركة بجائزة نوبل فى الكيمياء لعملهما فى مجال الهيموجلوبين والميوجلوبين على التوالى.

واشتركنا أنا وجيم واطسون وموريس ويلكينز فى جائزة نوبل فى الطب أو الفسيولوجيا فى نفس العام. وجاء فى التنويه: "..... لاكتشافاتهم فى مجال البنى الجزيئية للحامض النووى ومغزاها بالنسبة لنقل المعلومات فى المادة الحية". وتوفت روزاليند فرانكلين، التى أنجزت عملا جيدا فى أنماط تحلل الأشعة السينية بألياف الدنا، فى ١٩٥٨ .

الفصل الخامس

لولب ألفا

كان سير لورانس براج أحد هؤلاء العلماء الذين يتصفون بالحماسة الصبيانية فى الأبحاث، وهذا ما لم يفقده أبدا. وكان أيضا بستانيا ماهرا. وعندما انتقل من منزله الكبير ذى الحديقة الواسعة فى ١٩٥٤ فى ويست رود فى كمبريدج إلى لندن، ليترأس المؤسسة الملكية فى شارع ألبيمارل، عاش فى الشقة الرسمية فى قمة المبنى. وبفقده لحديقته، لجأ إلى العمل بالأجرة مرة كل أسبوع بعد الظهر كبستانى لدى سيدة غير معروفة تعيش فى بولتونس، ضاحية خاصة داخل لندن. ولوّح لها بقبعته باحترام، وقال لها إن اسمه ويلى. وسارت الأمور على ما يرام عدة أشهر حتى حدث يوما أن ألقت زائرة نظرة خلال النافذة وقالت لمضيفتها "عزيزتى، ماذا يفعل سير لورانس براج فى حديقتك؟" أستطيع القول إن قليلا من العلماء الآخرين بنفس تفوقه يمكنهم فعل شىء مشابه. وكان لدى براج موهبة عظيمة فى تدبر المشاكل بطرق بسيطة، مؤكدا أن كثيرا من التعقيدات البادية قد تتلاشى إذا تم اكتشاف النموذج الأساسى الكامن خلفها؛ لذلك لم يكن غريبا أنه أراد فى ١٩٥٠ أن يوضح أن بعض امتدادات سلسلة عديد الببتيد فى البروتين تلتف بطريقة سهلة، ولم يكن ذلك مدخلا جديدا تماما. كان بيل أستبورى، عالم البللورات، قد حاول التعبير عن رسوماته البيانية للأشعة السينية للقرتين (بروتين الشعر والأظافر) مستخدما نماذج جزيئية بتكرارات منتظمة. وحصل على شكلين للرسومات الخيطية تلك، التى أطلق عليها اسمى الحرفين الإغريقيين ألفا وبيتا. ولم تكن فكرته حول بنية بيتا بعيدة عن الإجابة الصحيحة، لكن اقتراحه لبنية ألفا حاد عن الهدف تماما. وكان ذلك شيئا جزئيا ؛ لأنه كان بنّاء نماذج قليل العناية بعمله، ولم يكن يعتنى بما فيه الكفاية بالأبعاد والزوايا المتضمنة فى نماذجه وجزئياته ؛ لأن الدليل التجريبى كان خادعا بطريقة يصعب عليه هو نفسه توقعها.

وكان معروفا -بشكل جيد- أن أية سلسلة ذات وصلات متماثلة متكررة وتلتف ؛ بحيث تكون كل وصلة ملتفة بنفس الطريقة، وبنفس العلاقات مع الوصلات المجاورة لها تماما، تشكّل لولبا helix (يطلق عليه العلماء في مجالات غير الرياضيات أحيانا -بشكل خاطئ- حلزون spiral). ويتم النظر رياضيا لحلول الحد الأقصى - خط مستقيم أو دائرة _كحلزونات متحولة.

دار التدريب الأولى لبراج كعالم فيزياء، وكثير من عمله في البنية الجزيئية حول المواد غير العضوية مثل السليكات. ولم يكن يألف تفاصيل الكيمياء العضوية أو الكيمياء الفيزيائية المتعلقة بها، رغم أنه بالطبع كان يفهم عناصر كلا الموضوعين. وقرر أن مدخلا جيدا قد يتمثل في بناء نماذج منتظمة للسلسلة الفقرية لعديد الببتيد، متجاهلا تعقيدات السلاسل الجانبية المختلفة.

ويوجد في السلسلة الفقرية لعديد الببتيد تتالى منتظم من الذرات، مع تكرار .....NH _ CO _ CH .... (حيث C بمثابة الكربون، H الهيدروجين، O للأكسجين، N للنتروجين). ويعرض الملحق "أ" الطريقة الفعلية التي ترتبط خلالها الذرات معا.

ويرتبط بكل CH مجموعة صغيرة من الذرات _يطلق عليها علماء الكيمياء غالبا R ، حيث R بمثابة "بقية". وسنطلق على R السلسلة الجانبية . ونعرف الآن أنه يوجد فقط عشرون سلسلة جانبية مختلفة شائعة في البروتينات. وبالنسبة لأصغر البقايا، جليسين، يمثل R ذرة الهيدروجين فقط _بالكاد يمكن اعتبارها سلسلة. والبقية الأكبر التالية هي الألانين وله مجموعة ميثيل (CH_3) كسلسلة جانبية. والبقايا الأخرى ذات أحجام مختلفة يحمل بعضها شحنة كهربائية موجبة، وبعضها شحنة سالبة، والبعض الآخر لا شحنة له البتة. وأغلبها صغير إلى حد ما. وأكبر اثنين منها، التربتوفان والآرجينين، لهما ثمان عشرة ذرة فقط في سلسلتيهما الجانبيتين. وكافة أسمائها العشرين (وليست صياغاتها الكيميائية) مسجلة في الملحق "ب".

ويتم بناء سلاسل عديد الببتيد تلك بضم جزيئات صغيرة معا يطلق عليها أحماض أمينية. (تفاصيل الكيمياء مذكورة في الملحق "أ"). وعندما يتم تكوين البروتين، تتجمع الأحماض الأمينية معا، الرأس في الذنب، مع إزالة الماء، لتكوين خيط طويل يطلق عليه

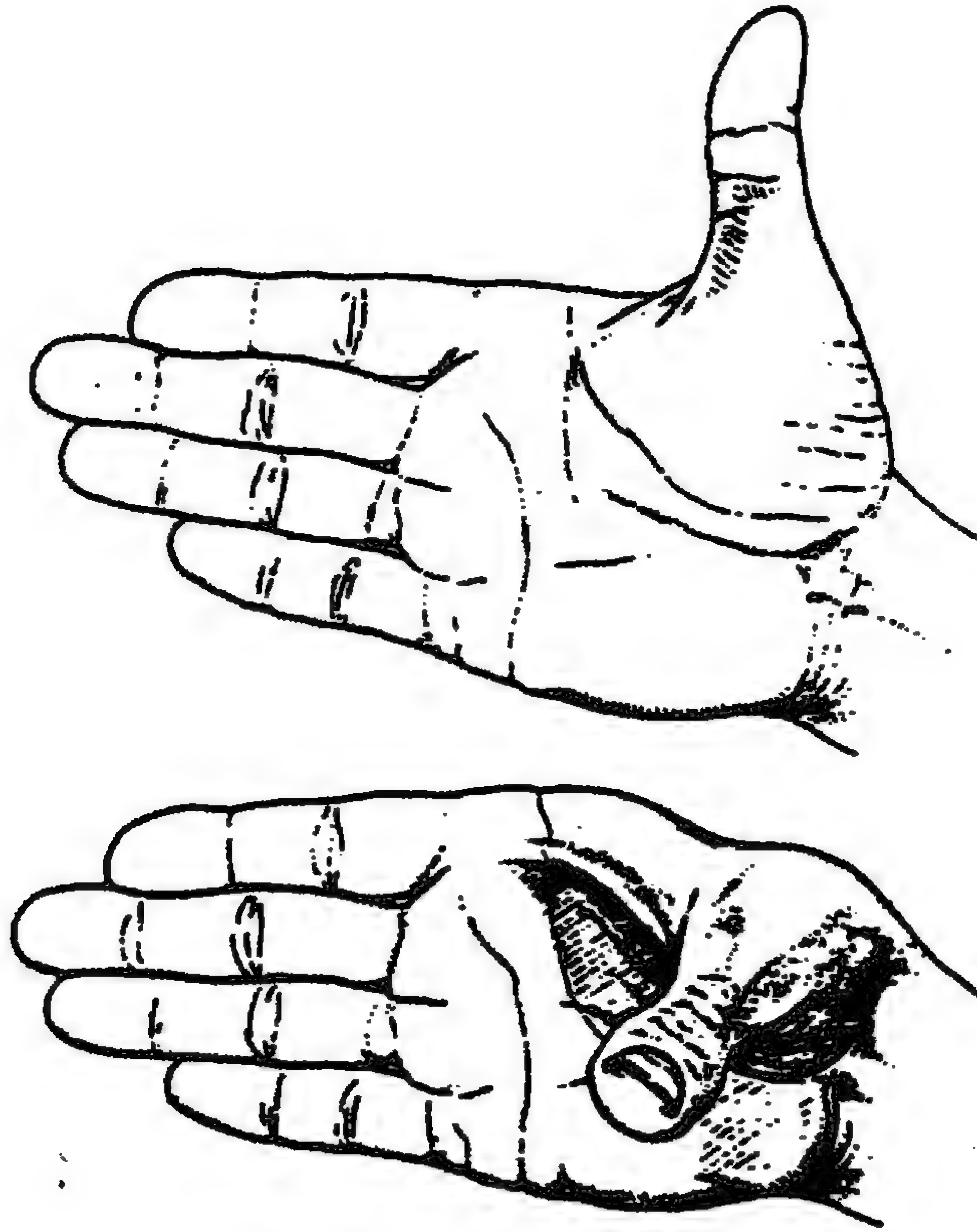
سلسلة عديد ببتيد. وكما أوضحت، يحدد النسق الدقيق للأحماض الأمينية فى بروتين ما، الذى تفرضه جيناته، صفات هذا البروتين.

والذى نحتاج إلى معرفته هو كيف تنطوى كل سلسلة عديد ببتيد فى بنية الأبعاد الثلاثة للبروتين، وبالدقة المطلوبة كيف يحدث ترتيب كل السلاسل الجانبية (وبعضها سهل الانثناء إلى حد ما) فى الفراغ، حتى يمكننا فهم كيفية أداء البروتين لعمله. وكان براج والآخرون، يريدون، ببناء النماذج، فهم ما إذا كانت سلسلة عديد الببتيد الرئيسية يمكن أن تأخذ شكل طية منتظمة أو أكثر من طية. وكان ثمة إشارات، من أنماط أسبورى لأشعة ألفا، بيتا، والأشعة السينية، تدل على وجود ما يوحى بأنها قد تفعل ذلك.

ولهذا السبب اقتصر عملهم على السلسلة الفقرية لعديد الببتيد فقط، وتجاهلوا سلاسله الجانبية. ولم يكن واضحا سبب بناء النماذج من الأساس ؛ حيث إن البنية الكيميائية لوحدة السلسلة الفقرية كانت مستتبة. وكانت كل مسافات الروابط معروفة وكل زوايا الارتباط أيضا. ومع ذلك، يمكن أن يوجد دوران حر بدرجة ما حول الروابط يطلق عليه ارتباطات فردية (لكنها ليست عكس الارتباط المزدوج)، وتعتمد كل الأشكال الدقيقة للذرات فى الفراغ على طبيعة هذه الزوايا. ويعتمد ذلك عادة على التأثير المتبادل بين الذرات التى تبعد قليلا عن بعضها عبر السلسلة، وقد توجد عدة خيارات معقولة، خاصة إذا كانت هذه الروابط من النوع الضعيف.

وقد لا يكون سبب سهولة الانثناء تلك واضحا للوهلة الأولى. وأحد الطرق السهلة لفهم ذلك استخدام اليد. ضع إحدى يديك بحيث تكون الأصابع جميعا فى مستوى واحد، على أن يصنع الإبهام بالضبط زاوية قائمة مع السبابة. يمكنك تحريك إبهامك مع المحافظة على تلك الزاوية القائمة، رغم أن شكل الأبعاد الثلاثة ليدك قد تغير. (انظر شكل ٥ – ١) ويحدث ذلك رغم أن كل أبعاد (أقرب الجيران) ثابتة _ طول الإبهام وكل أصبع _ وكذلك الزوايا بينها، والذى تغير فقط هو ما يطلق عليه زاوية ما بين المستويين (بين مستوى الأصابع الأربعة والمستوى الذى يحتوى على إبهامك وسبابتك). ومثال "للتأثير المتبادل عند المسافات الصغيرة" يشير فقط لتغير المسافة الممكن بين ظفر إبهامك وظفر البنصر.

وفى حالة الجزىء الكيميائى، يجب أن يوجد نوع ما من التأثيرات المتبادلة إذا كان على الجزىء أن يتخذ شكلا محددا. وكان من الواضح أن أفضل طريقة لسلسلة عديد ببتيد لكى تطوى نفسها أن توجد روابط هيدروجين بين ذرات معينة فى سلسلتها الفقرية. وروابط الهيدروجين ضعيفة. والطاقة فى هذه الحالة تكون مضاعفة بسيطة للطاقة الحرارية (فى درجة حرارة الغرفة)، لذلك فإنه من السهل أن يتفكك الرباط الهيدروجينى المفرد بسبب الاضطراب الحرارى، ويكون هذا هو السبب، جزئيا، فى أن يظل الماء سائلا فى درجات الحرارة والضغوط العادية.



(شكل ٥ – ١) يوضح كيف يمكن للإبهام أن يتحرك ليعطى اليد شكلا مختلفا مع المحافظة على كل الزوايا والمسافات سليمة

وتتكون رابطة الهيدروجين من ذرة واهبة (إضافة إلى الهيدروجين المرتبط بها) وأخرى متلقية. وفى حالة سلسلة ببتيد تكون مجموعة NH، هى الواهبة الأكثر قوة، وأفضل متلقية ذرة O فى مجموعة CO، وأشار جون كيندرو إلى أن رابطة الهيدرجين تلك تنتج فعلا حلقات محددة من الذرات. وبإحصاء كل الحلقات المحتملة من هذا النوع يمكن إحصاء كل البنى الممكنة لهذا النوع، يتميز كل منها بارتباط مجموعة NH بمجموعة CO خاصة، ولتكن تلك التى تتكرر ثلاث مرات عبر السلسلة. ويتكرر هذا الرباط مرات عدة من جديد على طول السلسلة. وتساعد روابط الهيدروجين المتعددة تلك فى ترسيخ البنية ضد الضربات العنيفة للحركة الحرارية. وباستخدام نموذج خاص من الذرات، مصنوع من المعدن، ووصلات مصنوعة بدقة بمقياس سليم، صنع براج، كيندرو، وبيروتز، طبقا لهذه المنظومة، كل النماذج المحتملة، متوقفين فقط أمام الطيات التى لم تكن محكمة بدرجة كافية. وكان لديهم أمل فى أن يثبت أحد النماذج أنه يناسب أكثر من كل النماذج الأخرى بيانات الأشعة السينية. ولسوء الحظ لم يجعلوا النماذج تتخذ أفضل أشكالها. وكان أستبورى قد أوضح أن لنمط ألفا بقعة أشعة سينية قوية على ما يطلق عليه خط التنصيف، مع وجود فراغ يناظر تكرار اتجاه الخيط بمقدار ٥,١ أنجستروم. ويعنى ذلك أن جانبا كبيرا من البنية يتكرر بعد تلك المسافة، ربما يكون "الخطوة" _ وهى المسافة بين الدورات المتتالية. ولأن تلك البقعة كانت بالضبط على خط التنصيف، فإنها تشير إلى أن محور اللولب (عنصر التماثل المصاحب للولب المنتظم) كان عددا صحيحا، رغم أنها لا توضح بشكل مباشر قيمة ذلك العدد. وأشار براج إلى أنه يمكن أن يكون الضعف، ثلاثة أضعاف، وأربعة أضعاف، أو حتى خمسة أضعاف أو أكثر. وكما سبق ذكره، لا يمكن طى ورقة حائط _وهى نمط متكرر فى البعدين _بحيث يكون لها تماثل خماسى، لكن لم يبد هناك سبب فى ألا يكون اللولب ببتيد منفرد محور لولبى خماسى التماثل. ويعنى ذلك ببساطة أنك إذا أدرت اللولب ٧٢ درجة (٣٦٠ درجة مقسومة على ٥) ونقلت البنية فى الوقت نفسه عبر محورها مسافة ما، يكون شكلها نفسه بالضبط، إذا تجاهلت أية تأثيرات للأطراف.

ولهذا السبب بنى براج، وكيندرو، وبيروتز، كل نماذجهم بمحاور ذات عدد صحيح، وبنوها أيضا بشكل فضفاض قليلا. وإحدى المجموعات الخاصة من الذرات، التى يطلق

عليها مجموعة ببتيد، يجب أن تكون مستوية واقعيا، كل الذرات الست الموجودة يجب أن تكون على مستوى واحد أو قريبة منه تماما ؛ حيث تتيح الدوران حول رابطة الببتيد، مما يجعل نماذجها متوافقة تماما.

وباختصار، جعلوا أحد الجوانب (الطبيعة الدقيقة لمحور اللولب) مقيداً جدا، وكانوا متسامحين جدا مع جانب آخر _السطح الواحد لرابطة الببتيد ؛ لذلك لم يكن مفاجئا أن تأتى كل نماذجهم بشعة، وكانوا عاجزين عن اتخاذ قرار نحو أى النماذج هو الأفضل. وبشيء من الحرج نشروا نتائجهم فى "محاضر الجمعية الملكية"، رغم أنها لم تكن قاطعة، وحدث أن طلب منى أن أقرأ براهين ذلك البحث (وأظن أن النتائج كان ينتظر وصولها، بينما أصحابها الثلاثة كانوا بعيدين عن المختبر)، لكننى كنت جاهلا تماما بالنقاط الدقيقة المتضمنة فى البحث بدرجة لم تتح لى التوصل إلى الأخطاء.

وبغير علم من زملائى، كان لينوس بولينج أيضا يتبع نفس الطريقة، وهو معروف الآن لدى الجمهور لسبب مهم يعود إلى بطولته فى مجال فيتامين سى. وربما كان فى ذلك الوقت أهم عالم كيمياء فى العالم. وكان رائدا فى تطبيق ميكانيكا الكم على الكيمياء (شارحا فى ذلك السياق، مثلا، سبب أن للكربون تكافؤ أربعة) وكان بروفيسورا فى الكيمياء فى معهد كاليفورنيا للتقنية ؛ حيث قاد عدة مجموعات موهوبة جدا من العاملين فى مجال الأبحاث. وكان مهتما -بشكل خاص- باستخدام الكيمياء العضوية لتوضيح الظواهر المهمة فى البيولوجيا.

ووصف بولينج كيف توصل للمرة الأولى إلى لولب ألفا عندما كان عاكفا فى فراشه مصابا بالبرد خلال إقامته فى أكسفورد فى ١٩٤٨ كبروفيسور زائر. ونشر بحثه الرئيسى حول لولب ألفا، مع أعماله العديدة الأخرى، فى "محاضر الأكاديمية القومية للعلوم" فى ربيع ١٩٥١ . وعرف بولينج أن رابطة الببتيد كانت فى مستوى واحد تقريبا، وقد يعود ذلك بشكل رئيسى إلى أنه كانت لديه معرفة وثيقة أكثر من العاملين الثلاثة فى كمبريدج بالكيمياء العضوية فى مجال الفيزياء. ولم يحاول جعل البنية ذات لولب بالعدد الصحيح، لكنه ترك النماذج تنطوى بشكل طبيعى على هيئة أى لولب يناسبها. وأسفر لولب ألفا عن لولب له ٣,٦ وحدة فقط لكل دورة. وأشار أيضا

إلى بحث لبامفورد، وهانبى، وهابى، العاملين فى مجال البوليمر، حول انحراف الأشعة السينية فى عديد الببتيد الصناعى الذى يناسب نموذجه بشكل أفضل.

وفى الحقيقة لم يفسر نموذجه انعكاس خط التنصيف، الذى وضعه على جانب واحد، كل مسافة قدرها ١,٥ أنجستروم. وكان من غرائب التقديرات، أن براج، وكيندرو، وبيروتز، صنعوا، ضمن النماذج الأخرى، نموذجا كان، فى الواقع، لولب ألفا، لكنهم شوهوا هذا الشيء البائس ليجعلوا له بالضبط محورا رباعى التماثل، وجعل ذلك شكله مبتسراً تماما، وكان كذلك فى حقيقته.

وأصبح واضحا بعد قليل أن لولب ألفا الذى اقترحه بولينج هو الحل الصحيح، وأصبح براج منكسر النفس تماما. كان يسير ببطء صاعدا السلم. (وعندما سارت الأمور على ما يرام بالنسبة لروثرفورد كان فى مقدوره أن يثب صاعدا وهو يغنى "إلى الأمام أيها الجنود المسيحيون"). وأشار براج إلى ذلك قائلا "أكبر خطأ فى حياتى المهنية العلمية". ولم تكن هناك جدوى من حقيقة أن حل المشكلة جاء من ناحية لينوس بولينج ؛ حيث إن براج كان قد غلب على أمره من قبل بواسطة بولينج. وتذكّر بيروتز أنه بعد إحدى حلقاته الدراسية قال له أحد علماء الكيمياء الفيزيائية إن مجموعة الببتيد يجب أن تكون فى مستوى واحد، حتى إن بيروتز سجل ذلك فى ملاحظاته لكنه لم يفعل بها شيئا. ولم يكن الأمر أنهم لم يحاولوا الاستفادة من نصيحة جيدة، لكن بعض ما تلقوه كان يتسم بسوء الحظ. وقال لهم تشارلز كولسين، عالم الكيمياء النظرية من أكسفورد، حسب ما سمعت،إن ذرة النتروجين يجب أن تكون "هرمية"، وكانت تلك نبذة من المعلومات شديدة التضليل.

وتم تعويض المجد بدرجة ما عندما اكتشف بيروتز أنه يجب أن يكون للولب ألفا انعكاس قوى على خط التنصيف عند ١,٥ أنجستروم، المقابل للارتفاع بين المراحل المتتالية على اللولب، ووجد أن ذلك صحيح. واكتشفت مع عالمى بللورات آخرين، هما فلاديمير فاند من جامعة جلاسجو وبيل كوشران من كافندش، الطبيعة العامة لتحويل فوريير لمجموعة ذرات مرتبة على لولب منتظم، وأثبتت مع كوشران أنها تناسب بشكل أفضل نمط الأشعة السينية لعديد الببتيد الصناعى. ولكننا بطريقة أو بأخرى كنا نضع ملحا على جراحنا.

ماذا كان التفسير، عندئذ، للتضليل الكامن فى البقعة عند ٥,١ أنجستروم؟ توصلت أنا وبولينج بعد وقت قصير لاحق إلى التفسير الصحيح. بسبب عدم سلامة لولب حلزونات ألفا فإنها لا تتجمع بسهولة بجانب بعضها البعض. وتتجمع بشكل أفضل عندما توجد زاوية صغيرة بينها، وإذا تشوهت قليلا، يؤدى ذلك إلى الالتفاف على شكل لفة -أى يتجمع لولبان أو ثلاثة من لوالب ألفا هذه جنبا إلى جنب، لكنها تكون ملتفة قليلا حول بعضها البعض (مثال دقيق للتناظر المكسور بالتفاعل الضعيف). ويبعد ذلك الالتفاف الإضافى بقعة خط التصنيف من ٥,٤ أنجستروم إلى خط التصنيف عند ٥,١ أنجستروم.

وقد يحتج البعض قائلين إن لوالب ألفا توجد غالبا وبشكل حصرى فى الجزيئات البيولوجية، لا يجب رفض نموذج لسلسلة فقارية لعديد الببتيد لمجرد كونها قبيحة. وأفضل القول إنه بسبب تشابهه مع الجزيىء يكون لولب ألفا الأساسى أقرب إلى الكيمياء الفيزيائية منه إلى البيولوجيا. وعند ذلك المستوى تتوافر بدائل قليلة للتطور حتى يكون مؤثرا. وبالأخذ فى الاعتبار فقط، السلاسل الجانبية والطرق الكثيرة التى يمكن لسلسلة عديد الببتيد أن تلتف بها من جديد حول نفسها، يصبح ممكنا حدوث تنويعة واسعة جدا من الأشكال البنائية. ويبدو أن البساطة تتحول هنا إلى التطور. وإذا وجدت الأناقة فقد تكون أكثر غموضا وقد يكون ما يبدو للوهلة الأولى احتيالا أو حتى قبيحا هو الحل الأفضل الذى اختاره الانتخاب الطبيعى.

وكان لذلك الفشل فى اكتشاف لولب ألفا وقع شديد علىّ وعلى جيم واطسون. ولهذا السبب قلت أنه كان ضروريا عدم التعويل بشكل كبير على جزء واحد من الشواهد التجريبية؛ فقد يصبح ذلك مضللا، كما حدث دون شك فى حالة الانعكاس عند ٥,١ أنجستروم. وكان جيم ميالا إلى الاندفاع، عندما قرر أنه لا يوجد نموذج جيد يتفق على طول الخط مع كل الحقائق؛ حيث إن بعض المعلومات كانت حتما مضللة هذا إن لم تكن خاطئة تماما. والنظرية التى تتوائم مع كل المعلومات قد تكون "مصطنعة" لأداء هذا الدور أو تكون لهذا السبب قابلة للشك.

ورأى بعض الناس أحيانا أن نموذج بولينج للولب ألفا أو نموذجه غير الصحيح لتركيب الدنا أعطانا فكرة عن أن الدنا كان لولبا. لا يوجد ما هو أبعد عن الحقيقة من ذلك الرأى. كانت فكرة اللولب شائعة، وكان أمامك أن تكون إما غبيا أو عنيد جدا لكى لا تفكر بطريقة اللولب. وما أوضحه لنا بولينج كان أن بناء النموذج الدقيق المعتنى به يمكنه تجسيد العوائق التى على الإجابة النهائية أن تتخطاها. ويؤدى ذلك أحيانا إلى البنية الصحيحة، باستخدام الحد الأدنى من الأدلة التجريبية المباشرة. وكان ذلك هو الدرس الذى تعلمناه والذى فشل كل من روزاليند فرانكلين وموريس ويلكينز فى إعطائه حقه من التقدير خلال محاولتهما حل مشكل بنية الدنا، إضافة إلى ذلك، ضرورة عدم وضع فروض قد تتعرض للشك فيها من وقت لآخر. ويجب أيضا الإشارة إلى أننى وجيم كان لدينها دوافع عميقة للنجاح، حتى لو عالجنا المشاكل بطريقة متراخية، وكنا نسرع بإحراز النجاح بمجرد التعرف عليه ويتعلم الدروس المستفادة من كلا النجاحات والمحاولات الفاشلة.

وكان لولب ألفا حجر الزاوية فى المسيرة الصعبة للبيولوجيا الجزيئية، لكن لم يكن له نفس الوقع الذى كان للولب الدنا المزدوج. وكان أملنا فى البداية، مع توافر الطيات الأساسية للولب ألفا وصفائح بيتا، أن نتمكن من حل مشكلة بنية البروتين ببناء النماذج دون صعوبة. ولسوء الحظ فإن أغلب البروتينات بالغة التعقيد والدقة ولا يصلح لها ذلك. وباختصار، نبهتنا هاتين الطريقتين المبتذلتين فى بناء النماذج إلى ما يجب أن نتوقعه فى بعض أجزاء البروتين لكنها لم تكشف لنا فورا عن سر خصوصية بروتين محدد ونشاطه فى الحفز. ومن ناحية أخرى، أفشت بنية الدنا سرها فجأة، بأن أوحت فقط وبشكل بالغ الوضوح كيف يمكن للحمض النووى أن يتناسخ تماما. والدنا، فى نهاية الأمر، جزىء أقل تعقيدا بكثير من البروتين المتطور ولهذا السبب يفشى أسراره بسهولة أكثر. ولم نكن نعرف ذلك مقدما ـ وكان من حسن الحظ فقط أننا عثرنا على مثل تلك البنية الجميلة.

وكان بولينج شخصا أكثر أهمية فى مجال البيولوجيا الجزيئية أكثر بكثير مما يراه البعض أحيانا. فلم تقتصر أعماله على التوصل إلى اكتشافات مهمة محددة فقط (أن أنيميا الخلايا المنجلية مرض جزيئى، مثلا)، بل كانت لديه المداخل النظرية الصحيحة لهذه المشاكل البيولوجية. وكان يعتقد أن كثيرا مما نحتاج توضيحه يمكن

التوصل إليه باستخدام الأفكار الراسخة فى الكيمياء، وخاصة فى كيمياء الجزيئات الكبيرة، وأن معرفتنا بالأنواع المختلفة للذرات، خاصة الكربون، وبالروابط التى تجمع الذرات معا (رباط متجانس القطبية، تفاعلات كهربائية استاتيكية، روابط هيدروجينية، وقوى فان دير فال) يمكن أن تكون كافية لحل ألغاز الحياة.

وكان ماكس ديلبروك، من ناحية أخرى، الذى بدأ حياته عالم فيزياء، يأمل أن تتيح لنا البيولوجيا اكتشاف قوانين جديدة للفيزياء. وكان ديلبروك يعمل أيضا فى كال تيك، حيث كان بولينج. وكان من رواد دراسات مهمة حول بعض الفيروسات، يطلق عليها ملتهمة البكتيريا (باكتيريوفاج) (و"فاج" باختصار)، وكان أحد قادة مجموعة الفاج قوية النفوذ، وكان جيم واطسون فيها أكثر من عضو حديث العهد بها. ولم أكن أظن أن ديلبروك سيكون لديه كثير من الاهتمام بالكيمياء. ومثله مثل أغلب علماء الفيزياء، كان ينظر للكيمياء كتطبيق تافه إلى حد ما لميكانيكا الكم. ولم يتخيل بقدر كاف التكوينات الاستثنائية التى يمكن أن ينشئها الانتخاب الطبيعى، ولا بالضبط ما يمكن أن يوجد من أنواع محددة من البروتينات.

واتضح مع الوقت - بدرجة كبيرة - أن بولينج كان على حق ، وأن ديلبروك كان مخطأ، كما أوضح ديلبروك بالفعل فى كتابه "العقل فى المادة". وبدا كل ما نعرفه عن البيولوجيا الجزيئية قابلا للتفسير بطريقة كيميائية نموذجية. وندرك الآن تماما أن البيولوجيا الجزيئية ليست جانبا تافها فى المنظومات البيولوجية. إنها فى قلب المادة. وكل جوانب الحياة فى أغلب الأحيان مهندسة على المستوى الجزيئى، وبدون فهم الجزيئات سيكون لدينا فقط فهم بالغ الغموض عن الحياة نفسها. وكل الداخل عند مستوى أعلى تكون قابلة للشك حتى يتم إثباتها على المستوى الجزيئى.

الفصل السادس

كيف تعيش مع لولب ذهبى؟

يعتبر اللولب المزدوج جزيئًا رائعًا حقا. وقد يكون عمر الإنسان الحديث ٥٠٠٠٠ سنة، وبالكاد يصل عمر الحضارة إلى ١٠٠٠٠ سنة، وعمر الولايات المتحدة لا يتخطى ٢٠٠ سنة، لكن الدنا والرنا يصل عمر كل منهما إلى نحو عدة مليارات من السنوات على الأقل. وخلال كل هذا الزمان كان اللولب المزدوج موجودا، ونشيطا، وحتى الآن نحن أول مخلوقات على الأرض تدرك وجوده.

وكُتب الكثير جدا عن اكتشافنا للولب المزدوج، حتى إننى أجد من الصعب بالنسبة لى أن أضيف كثيرا إلى ما قيل. "كل تلميذ يعرف" أن الدنا رسالة كيميائية بالغة الطول مكتوبة بلغة من أربعة أحرف. والسلسلة الفقرية لكل سلسلة متماثلة بأسرها فى أغلب الأحيان. وتتصل الأحرف الأربعة _ القواعد _ بالسلسلة الفقرية عند مسافات منتظمة. وتتكون البنية عادة من سلسلتين منفصلتين، تلتفان حول بعضهما لتكوين اللولب المزدوج، لكن اللولب ليس سر البنية. ويعود ذلك إلى طريقة ازدواج القواعد: أدينين يزدوج مع ثايمين، وجوانين مع سيتوزين. وبالكتابة المختزلة، أ = ث ، ج ≡س، وكل شرطة تمثل رابطة كيميائية ضعيفة، ورابطة هيدروجين. ويعتبر هذا الازدواج الخاص بين القواعد فى ضفائر متعاكسة قلب عملية التناسخ. وأيا كان التتالى المسجل على أحد السلاسل، يجب أن يكون على السلسلة الأخرى التتالى المكمل له، وفقا لقواعد الازدواج. وتتبنى الكيمياء الحيوية - بشكل أساسى - على جزيئات الكيمياء العضوية المتكيفة بإحكام مع بعضها. ولا يعتبر الدنا استثناء من ذلك. (انظر الملحق "أ" لبيان تفصيلى أكثر بعض الشىء).

ولم يكن الدنا مصطلحا شائعا دائما، لكن حتى منذ ثلاثين عاما لم يكن مجهولا تماما. وقال لى عالم الكيمياء الفيزيائية بول دوتى إنه بعد قليل من ظهور موضة أزرار ثنية السترة كان فى نيويورك، ولدهشته قرأ على إحداها كلمة "دنا". واعتقد أنها قد تكون إشارة لشىء آخر، فسأل البائع عن معناها؛ فأجاب الرجل بلهجة نيويورك العنيفة "اذهب بها، يا أخ" "هذا هو الجين".

ويعرف أغلب الناس حاليا ما هو الدنا، وإذا لم يكونوا على علم به فإنهم يعرفون أنه بالضرورة كلمة بغيضة مثل "كيميائى" أو"اصطناعى". ومن حسن الحظ أن من يتذكرون أنه كان هناك شخصان اسمهما واطسون وكريك يخلطون فى أغلب الأحيان بينهما. وكم من المرات قابلت معجبين متحمسين أبلغونى إلى أى مدى تمتعوا بكتابى ـ قاصدين بالطبع كتاب جيم. وتوصلت حتى الآن إلى أنه من الأفضل ألا أحاول توضيح الخلط. وحدث ما هو أغرب من ذلك، عندما عاد جيم إلى العمل فى كمبريدج فى ١٩٥٥. كنت داخلا إلى كافندش يوما فوجدت نفسى أسير مع نيفيل موت، بروفيسور كافندش الجديد (كان براج قد انتقل إلى المعهد الملكى فى لندن). قلت " يسرنى أن أقدمك إلى واطسون" ؛ "حيث إنه يعمل فى مختبرك" فنظر إلىّ مندهشا وقال "واطسون؟" "واطسون؟ كنت أظن اسمك واطسون ـكريك".

ومازال بعض الناس يجدون صعوبة فى فهم الدنا ، وأتذكر مغنية فى نادى ليلى فى هونولولو حكت لى أنها، عندما كانت تلميذة، لعنتنى أنا وواطسون بسبب الأشياء الصعبة حول الدنا التى كان عليها أن تدرسها فى فصول البيولوجيا. وفى الحقيقة، أنه إذا تم تقديم الأفكار المطلوبة لفهم البنية، بشكل صحيح، تكون سهلة بشكل مضحك؛ حيث إنها لا تعارض الحس العام، مثل ما يحدث مع ميكانيكا الكم والنظرية النسبية. وأعتقد فى وجود سبب جيد يفسر بساطة الأحماض النووية. ربما تعود إلى أصل الحياة، أو على الأقل ما هو قريب جدا منه. وكان على آليات ذلك الزمان أن تكون بسيطة تماما ، وإلا لم يكن فى قدرة الحياة أن تبدأ. وبالطبع فإن الطبيعة الدقيقة للجزيئات الكيميائية لا يمكن تفسيرها إلا بميكانيكا الكم، لكن لحسن الحظ يمكن تجسيد الجزىء الكيميائى بسهولة نسبية على هيئة نموذج ميكانيكى، وهذا ما يجعل المعانى سهلة الفهم.

وللذين لم يعرفوا كيف تم اكتشاف اللولب المزدوج، قد يقدم لهم الملخص التالى بعض المساعدة. التقط أستبورى، من جامعة ليدز، بعض الصور البائسة لكنها موحية بتحليل الأشعة السينية لألياف الدنا ، وبعد الحرب العالمية الثانية حصل موريس ويلكينز، من مختبر راندال فى كلية الملك فى لندن، على بعض الصور الأفضل إلى حد ما. واستخدم راندال عندئذ عالمة بللورات خبيرة، هى روزاليند فرانكلين، لتساهم فى حل مشكل بنية الدنا ، ومن سوء الحظ أن روزاليند وموريس وجدا صعوبة فى العمل معا. كان يريد منها أن تهتم أكثر بالقالب الأكثر بللا (الذى يطلق عليه قالب بى.)، الذى يعطى نمط أشعة سينية أكثر بساطة لكنه أكثر قدرة على الإيضاح مقارنة بالقالب الأكثر جفافا نسبيا (القالب أ.)، رغم أن الأخير يعطى تفاصيل أكثر فى صور الأشعة السينية التفصيلية.

وكنت فى كمبريدج أحضّر أطروحة دكتوراه الفلسفة حول تحليل الأشعة السينية للبروتينات. وكان عمر جيم واطسون، الزائر الأمريكى، عندئذ ثلاثة وعشرون عاما، وكان عازما على اكتشاف طبيعة الجينات ، ويأمل أن حل مشكلة بنية الدنا قد تساهم فى ذلك. وكنا نحث العاملين فى لندن نحو عمل نماذج، مستخدمين طريقة لينوس بولينج التى استخدمها فى حل مشكلة لولب ألفا. وأنتجنا نحن نموذجا خاطئا تماما، كما فعل لينوس بولينج بعد وقت قصير. وفى النهاية، بعد عدة تقلبات، خمنت أنا وجيم البنية الصحيحة، مستخدمين بعض المعلومات التجريبية من مجموعة لندن مع قواعد شارجاف حول الكميات النسبية للقواعد الأربع فى أنوا ع الدنا المختلفة.

وكنت قد سمعت أول مرة عن جيم من أوديل. وعندما عدت يوما إلى المنزل قالت لى "ماكس كان هنا مع الأمريكى الشاب الذى يرغب فى أن تقابله و ـهل تتخيل ـكان بدون شعر!". وبهذا القول كانت تعنى أن جيم كان بقصة شعر مبرومة، وكانت شيئا جديدا فى كمبريدج عندئذ. ومع مرور الوقت أصبح شعر جيم أطول فأطول، بعد أن حاول السير على الأسلوب المحلى، رغم أنه لم يذهب بعيدا مثل أن يضع الشعرالطويل الذى كان يضعه الرجال فى الستينيات.

وتوافقت مع جيم فورا ؛ جزئيا لأن اهتماماتنا كانت متشابهة بشكل يدعو إلى الدهشة وجزئيا، حسب ظنى، بسبب بعض الصلف فى بداية العمر، الحزم، وفروغ

الصبر تجاه التفكير غير المتقن، وكانت تلك الصفات لديّ كل منا بشكل طبيعي. وكان واضحا على جيم أنه أكثر منى جرأة على الصراحة، لكن عمليات التفكير لدينا كانت متشابهة جدا ، والمختلف كان خلفياتنا فى مجال المعلومات. وكنت فى ذلك الوقت أعرف كمية طيبة من المعلومات حول البروتينات وتحليل الأشعة السينية. وكان جيم يعرف أقل منى بكثير فى هذه الموضوعات ، لكنه كان يعرف أكثر منى بكثير فى مجال العمل التجريبى على الفاج (فيروسات بكتيرية) وخاصة ما يتعلق بمجموعة الفاج، التى كان على رأسها ماكس ديلبروك، سالفا لوريا، والهيرشى. وكان جيم يعرف أكثر أيضا عن علم الوراثة البكتيرى ، وأظن أن معارفنا عن الوراثة الكلاسيكية كانت متماثلة.

ولم يكن من المدهش أننا قضينا وقتا طويلا نتكلم عن المشاكل معا. ولم يمر ذلك دون لفت الأنظار. بدأت مجموعتنا فى كافندش بالقليل جدا _ لفترة محدود فى ١٩٤٩ كنا نعمل جميعا فى حجرة واحدة.

ومع الوقت التحق جيم بنا، وكان لماكس وجون كيندرو مكتب خاص صغير جدا. وفى هذه الفترة حصلت المجموعة على حجرة إضافية. ولم يكن واضحا فى البداية من يحصل عليها حتى أعلن ماكس وجون يوما، وهما يحكّان أياديهما، أنهما قررا إعطائها لى ولجيم، "..... حتى تستطيعا التحدث مع بعضكما بدون إزعاج الآخرين" كما قالا. وكان قرارا جيدا لحسن حظنا، كما اتضح بعد ذلك.

وعندما تقابلنا كان جيم قد حصل على الدكتوراه ، بينما كنت، رغم كبرى عنه باثنتى عشرة سنة، مازلت فى الدراسة العليا.

وكان موريس ويلكنز، فى لندن، قد أنجز الكثير من العمل المبدئى فى مجال الأشعة السينية، الذى باشرته وتوسعت فيه روزاليند فرانكلين. ولم نجرِ أنا وجيم أى عمل تجريبى على *الدنا*، رغم أننا تكلمنا بلا نهاية حول المشكلة. واعتقدنا، تبعا لمثال بولينج، أن طريق حل مشكل البنية أن نبنى نماذج . واتبع العاملون فى لندن طريقة تحتاج مثابرة أكثر فى بذل الجهد.

وكانت أول محاولة لنا على نموذج مخفقة كل الإخفاق ؛ لأننى اعتقدت، بشكل خاطئ تماما، أن البنية تحتوى على ماء قليل جدا.

وكان هذا الخطأ يعود جزئيا إلى الجهل من جانبى -كان علىّ أن أعرف أن أيون الصوديوم يميل إلى الاتحاد مع الماء بشدة -وجزئيا بسبب عدم فهم جيم للمصطلح التقنى فى علم البللورات الذى استخدمته روزاليند فى الحلقة الدراسية التى قدمتها. (خلط بين "وحدة لا متماثلة" و"وحدة الخلية").

ولم يكن ذلك الخطأ الوحيد الذى ارتكبناه. أضلنى مصطلح قوالب تماثل التركيب الكيميائى، فافترضت أن بعض ذرات الهيدروجين على السطح الخارجى للقواعد يمكن أن تكون فى واحد من المواقع المتعددة. وفى آخر الأمر، قال لنا جيرى دونوهو، عالم البللورات الأمريكى الذى كان يشاركنا مكتبا، أن بعض التركيبات فى الكتب المدرسية كانت خاطئة، وأن كل قاعدة تتكون حصرا فى صيغة خاصة، وأصبح تقدمنا فى العمل سهلا بعد ذلك.

وكان أهم اكتشاف تصميم جيم على الطبيعة المضبوطة لزوجى القواعد (أدينين مع ثايمين وجوانين مع سيتوزين). ولم يتوصل إلى ذلك بالمنطق، ولكن بموهبة اكتشاف الأشياء المهمة مصادفة. (وكانت الطريقة المنطقية -التى كان علينا بالتأكيد أن نتبعها إذا أثبتت أنها ضرورية - أن نفترض أولا أن قواعد شارجاف كانت صحيحة، وتتضمن تلك الأزواج التى تقدمها هذه القواعد فقط، والثانى، البحث عن التناظر الثنائى الذى تقدمه مجموعة "سى٢" الفراغية الذى تقدمه الأنماط الليفية. وكان يمكن لذلك أن يقود إلى الأزواج القاعدية الصحيحة فى وقت قصير جدا). وبشكل ما، كان اكتشاف جيم نوع من الحظ، لكن كل الاكتشافات حينئذ كان فيها عنصر من الحظ. والأكثر أهمية أن جيم كان يبحث عن شىء مهم؛ فأدرك فجأة أهمية الأزواج الصحيحة عندما عثر عليها بالصدفة -"الصدفة تفضل العقل الجاهز". وتشير هذه الأحداث العرضية أيضا إلى أن اللعب كثيرا ما يكون مهما فى البحث.

وخلال ربيع وصيف ١٩٥٣ كتبت أنا وجيم واطسون أربع أوراق عن بنية ووظيفة الدنا، نشرت الأولى فى مجلة "نيتشر" فى ٢٥ أبريل ومعها بحثين من كلية الملك فى لندن، الأول لويلكينز، ستوكيس، وويلسون، والثانى لفرانكلين وجوسلينج. وبعد خمسة أسابيع نشرنا الورقة الثانية فى "نيتشر"، وكانت حول الاستنساخ الوراثى للبنية. (وتم

ترتيب أسماء المشاركين فى هذه الورقة بالاقتراع بعملة نقدية). وكانت هناك مناقشة عامة فى المجلد السنوى الصادر عن ندوة "كولد سبرينج هاربور"، وكان موضوعها الفيروسات. ونشرنا أيضا تقريرا تقنيا تفصيليا عن البنية، بإحداثيات تقريبية، فى صحيفة مغمورة منتصف ١٩٥٤ .

وكانت ورقة "نيتشر" الأولى مختصرة ورصينة. وفضلا عن اللولب المزدوج نفسه، كانت السمة الوحيدة التى أثارت التعليق جملة قصيرة تقول: "لم يبعد عن ملاحظتنا أن الازدواج الخاص الذى افترضناه يوحى مباشرة بآلية نسخ محتملة للمادة الوراثية" . وتم وصف ذلك بأنه "تظاهر بالخجل"، وهو تعبير قل عادة من يلصقه بأى من كاتبى هذه الأوراق، على الأقل فى ما يتعلق بأعمالهما العلمية. وكانت تسوية فى حقيقتها، تعكس اختلافا فى الآراء. وكنت متحمسا لأن تناقش الورقة التضمينات الوراثية. وكان جيم ضد ذلك. كان يعانى من مخاوف متكررة من أن البنية قد تكون خاطئة ومن أن يكون قد جعل نفسه موضعا للسخرية. واستسلمت لوجهة نظره ، لكننى أصررت على وضع شيء من ذلك فى الورقة، وإلا قد يحدث مؤكدا أن يكتب شخص آخر مقدما نفس الاقتراح، معتبرا أننا كنا عميان تماما بحيث لم نره. وباختصار، كان مطالبة بالأسبقية.

فلماذا غيرنا رأينا، خلال بضع أسابيع فقط، وكتبنا ورقة ٣٠ مايو التى اتسمت بمزيد من التفكير؟ كان السبب الرئيسى أننا عندما أرسلنا أول مسودة لورقتنا الأولية إلى كلية الملك لم نكن قد رأينا بعد أوراق الباحثين هناك. وكانت النتيجة أن كانت لدينا فكرة مبتسرة عن مدى قوة دليلهم بالأشعة السينية الذى يدعم بنيتنا. وكان جيم قد رأى صورة الأشعة السينية "اللولبية" الشهيرة فى القالب "ب" التى أنجزها كل من فرانكلين وجوسلينج فى ورقتهما، لكنه لم يكن بالتأكيد يتذكر تفاصيل كافية لإقامة البراهين حول دالات بيسيل والمسافات المستقاة من علماء التجارب. ولم أكن قد رأيت أنا نفسى فى ذلك الوقت الصورة مطلقا. ومن هنا كنا مندهشين بدرجة ما باكتشافنا أنهم ذهبوا بعيدا ، وابتهجوا برؤية كيف دعم دليلهم أفكارنا إلى حد بعيد. وبسبب هذه الجرأة، أصبح سهلا إقناع جيم بأنه يجب علينا أن نكتب ورقة ثانية.

وأعتقد أن ما يجب التأكيد عليه بشأن اكتشاف اللولب المزدوج أن الطريق إليه كان، إذا تحدثنا بشكل علمي، معقد تماما. ولم يكن المهم طريقة اكتشافه ، ولكن الموضوع الذى تم اكتشافه _ بنية الدنا نفسها. ويمكنك إدراك ذلك بمقارنته بأى اكتشاف علمي آخر.

ويشهد كثير من الأعمال العلمية بوجود - إن لم يكن كلها - معلومات مضللة، وأفكار زائفة، ومشاكل من العلاقات الشخصية المتبادلة. خذ مثالا لذلك، اكتشاف البنية الأساسية للكولاجين، والبروتين الرئيسى فى الأوتار، والغضاريف، وأنسجة الجسم الأخرى. والليفة الأساسية فى الكولاجين مصنوعة من ثلاث سلاسل طويلة ملتفة حول بعضها. وكان لاكتشاف تلك البنية كل العناصر التى أحاطت باكتشاف اللولب المزدوج. وكان لخصائص الاكتشاف نفس الحيوية والتنوع.

واتصفت الحقائق بنفس الاضطراب والحلول الزائفة المضللة فى نفس الوقت. ويلعب التنافس وانعدام الود أيضا دورا فى القصة. ولم يكتب أحد بعد - حتى ولو كتاب واحد - حول السباق من أجل اللولب الثلاثى. هذا أمر طبيعى؛ لأنه، من الناحية الواقعية تماما، ليس الكولاجين بأهمية جزىء مثل الدنا.

وبالطبع يعتمد ذلك إلى حد ما على ما تعتبره مهما. وقبل أن أعمل أنا وإليكس ريتش (وكان ذلك مصادفة بحتة، بشكل طارئ) فى مجال الكولاجين، ملنا لاعتبار أنفسنا نتنازل للتعامل معه. وقلنا "على كل حال" " لا يوجد كولاجين فى النباتات". وفى ١٩٥٥ ، بعد أن بدأ اهتمامنا بالجزىء، وجدنا أنفسنا نقول "هل أدركت أن ثلث كل البروتين فى جسمك كولاجين؟"، لكن أيا كانت وجهة نظرك فى ذلك، الدنا أكثر أهمية من الكولاجين، أكثر تمركزا فى البيولوجيا، وأكثر أهمية لمزيد من البحث؛ لذلك، كما قلت من قبل: إن الجزىء هو الفاتن وليس العلماء.

وأحد غرائب الحكاية كلها أنه لا جيم ولا أنا كنا نعمل بشكل رسمى أبدا فى مجال الدنا. كنت أحاول كتابة أطروحة حول تحليل الأشعة السينية بالجزيئات عديدة الببتيد والبروتينات، فى الوقت الذى كان فيه جيم قد جاء ظاهريا إلى كمبريدج لمساعدة جون كيندرو فى عمل بللورات ميوجلوبين. وكصديق لموريس ويلكينز عرفت الكثير عن

عملهم فى الدنا ـ وهو ما كان معترفا به رسميا ـ فى الوقت الذى وقع فيه جيم فى أسر مشاكل تحليل الأشعة بعد سماع محاضرة موريس فى نابليس.

ويسأل الناس كثيرا كم مضى علينا من الوقت أنا وجيم ونحن نعمل فى مجال الدنا، ويعتمد ذلك إلى حد ما على ما المقصود بالعمل. خلال مدة تصل إلى نحو عامين كنا نتناقش كثيرا حول تلك المشكلة، إما فى المختبر أو فى سيرنا اليومى وقت الغداء حول "الخلفيات" (حدائق الكلية بمحاذاة النهر) أو فى المنزل ؛ حيث يأتى جيم أحيانا بلا موعد قبل موعد الغداء أو العشاء بقليل، والجوع واضح فى عينيه. وأحيانا، عندما يكون طقس الصيف مغر بشكل خاص، كنا نقضى ما بعد الظهيرة خارج المنزل فى نزهة عبر النهر نحو جرانتشيستر. وكان كل منا يعتقد أن الدنا مهم ، ولا أظن أننا أدركنا بالضبط مدى الأهمية التى سيصبح عليها. وكانت وجهة نظرى فى الأصل أن حل مشكلة أنماط تحليل الأشعة السينية لألياف الدنا كان عمل موريس وروزاليند وزملائهما فى كلية الملك فى لندن، ولكن مع مرور الوقت أصبحت وجيم نافذى الصبر من تقدمهما البطىء وطرقهما المملة. ولم يساعد الفتور بين روزاليند وموريس فى علاج هذا الأمر.

وكان الاختلاف الرئيسى بين الطريقين أننى وجيم كانت لدينا معرفة عميقة بطريقة اكتشاف لولب ألفا. وكنا نقدر مدى قوة مجموعة التقييدات التى تتمثل فى المسافات المعروفة بين الذرات والزوايا ذات الشروط ، وكيف يؤدى افتراض أن البنية لولب منتظم إلى الإقلال من عدد البارامترات (الكميات متغيرة القيمة) الحرة بشكل ضخم. وكان العاملون فى كلية الملك كارهين التحول إلى مثل تلك الطريقة. وأرادت روزاليند، بشكل خاص، استخدام بياناتها التجريبية كاملة بقدر الإمكان. وأرى أنها ظنت أن تخمين البنية بتجريب نماذج مختلفة، باستخدام الحد الأدنى من الحقائق التجريبية، كان بهرجة شديدة.

وناقش الناس عقبة أن روزاليند كانت تعانى من كونها عالما وامرأة معا. لا شك أنه كانت هناك قيود مثيرة للسخط – لم يكن مسموحا لها بتناول القهوة فى أحد حجرات الكلية المحجوزة للرجال فقط – لكن تلك القيود كانت تافهة فى أساسها، أو هكذا كانت تبدو لى حينئذ. وعلى مبلغ علمى كنت أرى زملاءها يعاملون العلماء

الرجال والنساء على قدم المساواة. وكان يوجد نساء أخريات فى مجموعة راندال ـ بولين كووان (الآن هاريسون)، مثلا ـ إضافة إلى ذلك، كان مستشارهم العلمى هونور بى. فيل، المثقف الرقيق الشهير . والمعارضة الوحيدة التى سمعت عنها دائما كانت تأتى من عائلة روزاليند ؛ فهى من عائلة فى المجال المصرفى اعتقدت أن فتاة يهودية مهذبة يجب أن تتزوج ويكون لها أطفال، وليس أن تكرس حياتها للبحث العلمى، لكن فى نفس الوقت لم يمارسوا معارضة حقيقية عملية ضد اختيارها لمهنتها.

ولكن، رغم حريتها فى مواصلة البحث كما رغبت، أعتقد أنه كانت هناك عوائق أكثر دقة. جزء من المشكلة التى كانت تعانى منها روزاليند مع موريس كان شكها فى أنه يريدها فى الحقيقة أن تكون مساعدة له وليس باحثا مستقلا. ولم تختر روزاليند بنفسها العمل فى الدنا ؛ لأنها كانت تعتقد أن له أهمية بيولوجية. وعندما عرض جون راندال عليها العمل فى البداية، كانت طبيعة العمل أنه يمكنها دراسة تحليل الأشعة السينية للبروتينات فى محلول. وكان عمل روزاليند السابق فى تحليل الأشعة السينية فى الفحم يلائم تماما لأن يكون مدخلا لتلك الدراسة. وبعد ذلك غير راندال رأيه واقترح أنه، بما أن العمل فى ليفة الدنا (الذى كان موريس يعمل فيه) أصبح مثيرا للاهتمام، قد يكون من الأفضل أن تعمل هى أيضا فى نفس المجال. وأشك أن روزاليند كانت تعرف الكثير عن الدنا قبل أن يقترح راندال أن تعمل فيه.

وحاول الناشطون فى مجال المساواة بين الجنسين تبيان أن روزاليند كانت شهيدة مبكرة لقضيتهم، لكننى لا أظن أن الحقائق تدعم هذا التفسير. ومرة قال لى آرون كلوج، الذى عرف روزاليند جيدا، فى إشارة إلى أحد كتب الحركة النسائية، "كانت روزاليند جديرة بأن تكره ذلك". ولا أظن أن روزاليند نظرت لنفسها كصليبية أو رائدة. وأعتقد أنها كانت ترغب فقط فى أن تتم معاملتها كعالم جاد.

على أى حال، كان العمل التجريبى لروزاليند من الدرجة الأولى. ومن الصعب القول بأنه كان من الممكن أن يكون أفضل. وكانت أقل توفيقا، من ناحية ثانية، فى التفسير التفصيلى لصور الأشعة السينية. وكان كل ما تفعله مضبوط ـ بل ويالغ الانضباط عادة ، لكنها كانت مفتقدة لمهارة بولينج وتباهيه بعمله. وأظن أن أحد أسباب

ذلك، بغض النظر عن الفارق الواضح فى المزاج، أنها كانت ترى أنه يجب على المرأة أن تبرز نفسها كمحترفة فى مهنتها تماما. ولم يكن لدى جيم مثل هذا القلق حول قدراته. كان يبحث فقط عن الإجابة، ولا يزعجه كثيرا إذا حصل عليها بطرق دقيقة أو أخرى زائفة. وكل ما كان يرغب فيه أن يحصل عليها بأسرع ما يمكن. وقال الناس إن سبب ذلك أننا كنا فى تنافس شديد، لكن الحقائق لا تدعم كثيرا وجهة النظر هذه. فى حماسنا لمدخل يحل لنا مشكلة بناء النموذج لم نكتفِ بإعطاء موريس محاضرات حول ما يجب عمله بهذا الخصوص، لكننا قدمنا له أيضا أدواتنا المستخدمة فى عمل الأجزاء الضرورية للنموذج. وأرى من زاوية أخرى أننا تصرفنا بطريقة لا تطاق (وهم لم يستخدموا أدواتنا أبدا)، ولا يعود ذلك بتمامه إلى التنافس، لكننا كنا نريد بشغف بالغ معرفة تفاصيل البنية.

وكان ذلك، عندئذ، يمثل ضغطا قويا فى صالحنا. وأظن أنه كان يوجد عنصران آخران على الأقل فى صالحنا. لم يكن جيم ولا أنا نشعر بوجود ضغط علينا لحل المشكلة. وهذا يعنى أنه كان فى إمكاننا التعامل معها بشكل كثيف فى فترة ما ثم تركها بعض الوقت. وميزتنا الأخرى أننا استنبطنا طرقا للتعاون غير رسمية، لكنها كانت مثمرة، وهو ما كان مفتقدا بين مجموعة لندن. وعندما كان أحدنا يقترح فكرة جديدة كان الآخر، فى الوقت الذى يأخذها مأخذا جادا، قد يحاول دحضها بطريقة صريحة، لكنها غير عدائية.

واتضح أن ذلك كان ذو فعالية حاسمة تماما.

ولحل مثل هذه المشاكل العلمية، من المستحيل تقريبا تجنب الوقوع فى الخطأ. ولقد سجلت فعلا بعض أفكارى الخاطئة. وفى هذه الحالة، للحصول على الحل الصحيح لمشكلة، يتطلب ذلك عادة خطوات منطقية متتالية، إلا إذا كانت واضحة السهولة. فإذا كانت إحدى الخطوات خاطئة، تظل الإجابة مجهولة فى أغلب الأحيان؛ حيث إن الخطأ يضع الإنسان عادة فى درب خاطئ تماما؛ لذلك فإنه من المهم جدا عدم وقوع الإنسان فى مصيدة أخطائه. وميزة التعاون العقلى أنه يساعد الباحث فى تجنب الفروض الزائفة. ومثال دقيق لذلك إصرار جيم فى البداية على أن الفوسفات يجب أن يكون

داخل البنية. وكان رأيه أن الأحماض الأمينية الطويلة للهستون والبروتامين (وهى بروتينات يربطها الدنا) قد تدخل البنية لربط مجموعة الفوسفات الحمضية. وجادلته بإسهاب حول أن ذلك كان سببا بالغ الضعف يجب أن نهمله. "لماذا لا نبنى النماذج بفوسفات من الخارج؟" هكذا قلت لجيم ذات أمسية، فرد قائلا : "لأن ذلك بالغ السهولة" (قاصدا أنه يوجد كثير جدا من النماذج التى يمكن بناؤها بهذه الطريقة). فقلت لجيم وهو يصعد السلم ليلا : "لماذا إذن لا نجرب ذلك". وكنت أعنى أننا حتى ذلك الوقت لم نستطع بناء أى نموذج مرض؛ لذلك فإن أى نموذج مقبول يمكن أن يمثل تقدما، حتى لو لم يكن نموذجا فذا.

وكان لهذا الحوار تأثير مهم فى توجيه نظرنا إلى القواعد. عندما يكون الفوسفات داخل البنية، والقواعد خارجه، كان فى قدرتنا تجاهل شكل وموضع القواعد. وكلما أردنا وضعها فى الداخل، كنا مضطرين لتفحصها عن قرب. وكان مسليا لى أن أكتشف، بعد أن بنينا القواعد أخيرا حسب المقياس، أنها تختلف من حيث الحجم عن تصورى العقلى السابق لها ـكانت أكبر دون ريب ـرغم أن شكلها كان قريبا مما تصورت.

ولهذا السبب لم تكن هناك إجابة واضحة عن التساؤل حول الوقت الذى احتجناه للعمل فى هذه المشكلة. كان لدينا فترة مكثفة لبناء النماذج بالقرب من نهاية ١٩٥١ ، لكن بعد ذلك كنت أنا نفسى ممنوعا، لفترة ما، من ممارسة أى مزيد من العمل ؛ حيث إننى كنت لاأزال طالب دراسات عليا.

ولمدة أسبوع أو نحو ذلك فى صيف ١٩٥٢ أنجزت تجارب لأرى ما إذا كنت قادرا على العثور على دليل عن ازدواج القواعد فى المحلول، لكن ضرورة مواصلة العمل فى أطروحتى جعلتنى أهجر ذلك المدخل بعد قليل. واستغرق الهجوم النهائى، متضمنا قياسات بارامترات نموذجنا، عدة أسابيع قليلة فقط. بعد أكثر من شهر أو نحو ذلك بعد ظهور بحثنا فى "نيتشر". وبدت فترة قصيرة من العمل تثير السخرية ، لكن كل الساعات تلو الساعات من القراءة والمناقشة التى أدت حقا إلى النموذج النهائى جديرة بضمها لهذا العمل.

وأصبح معروفا بسرعة أن نموذجنا لم يكن حتى صحيحا فى تفاصيله. كانت لدينا وصلتا هيدروجين فقط فى زوجنا ج = س، رغم معرفتنا بضرورة وجود ثلاث روابط. وقدم بولينج - فيما بعد - رأيا حاسما فى صالح الروابط الثلاثة ، وتكدر إلى حد ما عندما أظهرت مقالتى فى "سيانتفيك أمريكان" أنهما رباطان فقط. ولم يكن ذلك، كما يحدث عادة، خطئى فى الحقيقة؛ حيث إن المحرر كان فى عجلة من أمره (وهو أمر دائم) حتى أننى لم أفحص براهين رسومى التخطيطية. وكنا قد وضعنا أيضا القواعد بعيدة جدا من محور البنية، لكن هذه الأخطاء لم تغير حقيقة أن نموذجنا حاز على كل الجوانب الجوهرية فى اللولب المزدوج. السلسلتان اللولبيتان تمتدان بتواز متعاكس، سمة استدللت عليها من بيانات روزاليند الخاصة: السلسلة الفقرية فى الخارج، مع قواعد مكدسة فى الداخل، وقبل كل هذا، السمة المهمة للبنية، والازدواج الخاص للقواعد.

وتتم المبالغة أحيانا فى بعض الجوانب. كان الأمر يحتاج إلى شجاعة (أو تهور، حسب وجهة نظرك) ودرجة من الخبرة التقنية لوضع حد للمشكلة الصعبة فى بسط اللولب المزدوج، ورفض بنية جنبا إلى جنب. وهذا النموذج تم تقديمه بواسطة عالم الكونيات جورج جاموه بعد قليل من النشر عن نموذجنا، وتم تقديمه أيضا فى وقت أكثر قربا من قبل مجموعتى بحث أخريين. دعنى أتخطى الزمن لأوضح هذين النموذجين. فى كل منهما لم تكن سلسلتا الدنا ملتفتين على بعضهما، كما هو الحال لدينا، لكنهما تمتدان جنبا إلى جنب. وكان ذلك، تبعا لرأيهم، يجعل من السهل للسلسلتين أن ينفصلا خلال التناسخ. وتلجأ كل سلسلة إلى نوع من التذبذب حتى لا تكون الهيئات المقترحة، للوهلة الأولى، غير مشابهة لنموذجنا الخاص. وزعموا أن هذه النماذج الجديدة تناسب بيانات الأشعة السينية على الأقل بنفس جودة نموذجنا، إن لم يكن أفضل.

ولم أوافق على أى من هذه الآراء. وشككت جدا فى المزاعم حول أنماط تحليل الأشعة ؛ حيث يتوقع أن ينتج عن تلك النماذج بضع بقع على الأقل فى تلك الفضاءات الخالية المتميزة فى الرسوم البيانية اللِيفة بالأشعة السينية التى ينتجها اللولب الحقيقى. إضافة إلى أن النماذج كانت قبيحة حتى إن الأشكال التى كانت تأخذها تم إدخالها قسرا بواسطة صانعى النماذج ، وبدت غير حائزة على سبب بنائى واضح لوجودها.

وعلى كل حال، ليس هذا الجدل حاسما ، ويمكن اتهامه بسهولة بأنه تحيز من جانبي. وشعرت مجموعتنا المبتكرين بشكل قاس أنهم على هوامش المجال العلمي. وخشوا ألا تسمع لهم "المؤسسة". وكان الوضع على العكس تماما ؛ حيث إن الجميع، بمن فيهم محرر "نيتشر"، كان يفسح لهم الطرق معطيا أفضل فرص للاستماع إلى حججهم.

وفى نفس الوقت تقريبا ظهر بيل بوهل، عالم الرياضات البحتة. وأوضح، بشكل صحيح، أنه إذا لم يحدث شيء ذو طبيعة خاصة، فإن النتيجة المتوقعة أكثر من غيرها بالنسبة لنسخ قطعة من الدنا الدائرى ستكون دائرتان وليدتان "متعشقتان" وليسا دائرتين منفصلتين. واستنبط من ذلك أن سلاسل الدنا لا يمكن أن تلتف حول بعضها، كما اقترحنا، لكنها يجب أن تكون جنبا إلى جنب.

واستجبت له إلى حد ما عندما كنا نتحادث هاتفيا. وفيما بعد زارنى. وكان قد أصبح على معرفة جيدة بالتفاصيل التجريبية ، وأصر بشدة على وجهة نظره. وكتبت له فى خطاب أن الطبيعة لو أنتجت أحيانا دائرتين مترابطتين بحلقات، لابد أن تتطور آلية خاصة لفك هذه الحلقات. وأظن أنه رأى ذلك مثالا شائنا للترافع الخاص ، ولم يقتنع به مطلقا. واتضح، بعد عدة سنوات، أن هذا ما يحدث بالضبط.

أوضح نيك كوزاريللى ومساعدوه أن إنزيما خاصا، يسمى توبويزميراس ٢، يمكنه أن يقطع جديلتى قطعة الدنا، يمرر قطعة أخرى من الدنا بين النهايتين، ثم يصل النهايتين المقطوعتين معا، بتركيزات مرتفعة بدرجة كافية من الدنا، منتجا دوائر مترابطة من أخرى منفصلة.

ومن حسن الحظ أن بعض الأعمال المبهرة لوالتير كيلير ولجيم وانج حول "رقم الارتباط" لجزيئات الدنا الدائرية أثبتت أن نماذج جنبا إلى جنب يجب أن تكون خاطئة. واتضح أن سلسلتى الدنا فى الدنا الدائرى تلتفان حول بعضهما عدد من المرات يقترب من العدد الذى توقعه نموذجنا. وقضيت وقتا طويلا فى هذه المشكلة ، حتى إننى وجيم وانج وبيل بووير كتبنا فى ١٩٧٩ مقالة تنقيحية " هل الدنا لولب مزدوج حقا؟" سردنا خلالها كل ما هو وثيق الصلة بالموضوع بشيء من التفصيل.

وأشك فى أن ذلك، بحد ذاته، يمكن أن يقنع شكاكا متصلبا، رغم أن بيل بوهل أذعن له. وتعود عدم إمكانية التوصل إلى نقاش حاسم استنادا إلى بيانات الأشعة السينية السابقة وحدها، بشكل جزئى إلى أن صور الأشعة السينية لم تحتوى على معلومات كافية ، ولأنه يجب "افتراض" نموذج ثم اختباره عندئذ فى مواجهة بيانات متفرقة إلى حد ما.

ومع نهاية السبعينيات توصل علماء الكيمياء إلى طريقة فعالة فى تركيب كميات معقولة من نتف قصيرة من الدنا بأى تتال قواعد مطلوب. وبضربة حظ، أمكن تركيب هذه القطعة القصيرة. ويمكن معرفة بنيتها بتحليل الأشعة السينية، باستخدام طرق لا غموض فيها مثل طريقة الإحلال المتماثل فى البنية البللورية (أيزومورفاس)، التى لا تتضمن افتراضات أولية عن النتيجة. إضافة إلى ذلك، تصل بقع الأشعة السينية من هذه البللورات إلى تحليل أعلى بكثير مقارنة بالرسوم التوضيحية القديمة لليفة، جزئيا لأن الليفة كانت مأخوذة من الدنا المحتوى على كل أنواع التتالى المتنوع المختلط ببعضه البعض. وليس مدهشا أن الألياف تعطى صورة أكثر ضبابية للجزئ؛ حيث إن ما تراه الأشعة السينية هو البنية "المتوسطة" لكل الجزيئات.

ونجم عن النتيجة الأولى (نحو ١٩٨٠) من التجارب على هذه النتف الصغيرة من الدنا، التى أجراها أليكس ريتش ومجموعته من مركز الأبحاث الطبية، وأيضا ديك ديكيرسون وزملاؤه من "كال تيك"، مفاجأة أخرى . أظهرت الأشعة السينية بنية تتجه إلى اليسار، لم تشاهد من قبل، بهيئة متعرجة. وتم تعميدها باسم زد – دنا، ولم يكن نمطها يشبه بأى شكل أنماط الدنا التقليدية، لذلك كان واضحا أنها شكل جديد من الدنا ، واتضح أن زد – دنا تتكون بسهولة أكثر من نوع خاص من تتالى القاعدة فقط (البيورينات والبيريميدينات المتعاقبة). ولايزال غرض استخدام الطبيعية ل زد – دنا موضوعا ساخنا للبحث: وقد تكون مستخدمة للتحكم فى التتالى.

وتم بعد ذلك بقليل تركيب تتاليات الدنا الأقرب إلى النوع العادى. وكانت البناءات الناتجة تشبه إلى حد كبير تلك التى تم توقعها باستخدام بيانات الأشعة السينية لليفة، رغم وجود تعديلات صغيرة واختلاف فى اللولب بشكل ما تبعا للتتالى المحلى للقواعد. ومازال هذا الأمر أيضا موضوعا للدراسات العملية.

وهكذا تم أخيرا إثبات البنية اللولبية المزدوجة للدنا فى بداية الثمانينيات. واحتاج الأمر لأكثر من خمس وعشرين سنة ليتحول نموذجنا للدنا من كونه مقبولا إلى حد ما، إلى أنه مقبول تماما (نتيجة العمل التفصيلى على ألياف الدنا)، ثم حصل نموذجنا على الاعتراف بأنه فعلا صحيح تماما، لكنه حتى ذلك الوقت كان صحيحا فى خطوطه العامة، وليس فى التفاصيل الدقيقة. وبالطبع كانت حقيقة أن تتالى القاعدة يتمم بعضه بعضا (وهذا مفتاح تفسير وظيفته) وأن السلسلتين تمتدان فى اتجاهين متعاكسين، قد تم ترسيخهما بقوة إلى حد ما مبكرا عن طريق العمل الكيميائى والبيولوجى على متتاليات الدنا.

ويمكن الإفادة من عملية توطيد اللولب المزدوج كتاريخ لقضية نافعة؛ حيث تستعرض مثالا للطريق المعقد الذى تجتازه النظريات لتصبح "حقيقة". وأظن أنه بعد نحو عشرين إلى خمس وعشرين سنة سيكون لدى كثير من الناس الرغبة فى إسقاط المعتقدات التقليدية؛ فكل جيل يحتاج موسيقى جديدة. وفى حالة اللولب المزدوج، جعلت الصدمة الشديدة للحقائق العلمية النماذج الجديدة غير مقبولة. وفى الموضوعات غير العلمية يكون الأمر أكثر صعوبة فى مجال مواجهة التحدى وفى أغلب الأحيان تسيطر الأفكار الجديدة، لا لشىء إلا لجدتها. فالطزاجة هى كل المطلوب. وفى كلا الحالتين يحاول المدخل الجديد أن يحافظ على بعض جوانب وجهة النظر الأقدم؛ حيث إن التجديد يكون أكثر فعالية إذا بنى على جزء على الأقل من العرف الموجود.

ما الذى يجعلنى أنا وجيم واطسون جديرين بالتصديق إذن؟ إذا كنا جديرين بالتصديق فى الأساس، فإن ذلك يعود إلى مثابرتنا واستعدادنا لطرح الأفكار جانبا عندما يتعذر الدفاع عنها. وقال ناقد إننا لم نكن بالذكاء الكافى؛ لأننا واصلنا إجراء كثير من التجارب الخاطئة، ولكن هذه هى الطريقة التى تتم بها الاكتشافات عادة. وتفشل أغلب المحاولات ليس بسبب نقص العقول، ولكن لأن الباحث يلتصق بزقاق مغلق أو أو يقطع الأمل عاجلا أو آجلا. وتم توجيه النقد إلينا أيضا؛ لأننا لم نفهم فهما كاملا كل مجالات المعرفة شديدة التنوع الضرورية لتخمين اللولب المزدوج، لكننا على الأقل كنا "نحاول" فهمها جميعا فهما كاملا، وهو ما لا يتوافر لدى بعض الذين انتقدونا.

وعلى كل حال، لا أظن أن لكل ذلك قيمة كبيرة. والمفخرة الأعظم التى أستحقها أنا وجيم، مع الوضع فى الاعتبار كم كنا مبتدئين فى مهنتنا البحثية، هو اختيار المشكلة الصحيحة والالتصاق بها. وصحيح أننا بالتخبط هنا وهناك تعثرنا فى الذهب، لكن تبقى حقيقة أننا كنا نبحث عن الذهب ؛ فكلانا كان قد قرر، بشكل مستقل بالنسبة لكل منا، أن المشكلة المركزية فى البيولوجيا الجزيئية كانت البنية الكيميائية للجين.

وكان عالم الجينات هيرمان مولير قد أوضح ذلك منذ زمن طويل يعود إلى بداية العشرينيات، وقام بهذا الدور آخرون كثيرون منذ ذلك الوقت، والذى أدركته أنا وجيم أنه قد يكون هناك طريق مختصر إلى الإجابة؛ حيث إن الأشياء قد لا تكون بكل ذلك التعقيد كما يبدو عليها. وكان لدى من الفضول ما جعلنى أرى إن موقفى هذا كان يعود جزئيا إلى إلمامى التفصيلى جدا بالمعرفة الشائعة بالبروتينات. ولم نكن نعرف بتاتا ماذا كانت الإجابة، لكننا اعتبرناها من الأهمية بحيث قررنا أن نفكر فيها وقتا طويلا وبصرامة، من خلال أى وجهة نظر لها صلة بالموضوع. وعمليا لم يكن هناك آخر مستعد لمثل هذا الاستثمار العقلى؛ حيث إنه لا يشمل فقط دراسة علم الوراثة، والكيمياء الحيوية، الكيمياء، والكيمياء الفيزيائية (متضمنة التحليل بالأشعة السينية - ومن كان مستعدا لدراستها؟) ولكن أيضا فرز الذهب الأصلى من الخبث. وكانت هذه المناقشات، التى بدت بلا نهاية، مطلوبة بشدة ومنهكة عقليا أحيانا. ولا يمكن لأحد ليس لديه اهتمام ضخم بالمشكلة أن يتحملها.

ويوضح تاريخ الاكتشافات النظرية الأخرى أيضا نفس النمط تماما. وبالنسبة للمنظور الواسع للعلوم الدقيقة لم نكن نبذل كثيرا من التفكير، لكننا كنا نفكر بشكل أكثر إمعانا من الآخرين فى تلك الزاوية فى البيولوجيا؛ حيث إنه فى تلك الأيام، باستثناء ما كان يفعله علماء الوراثة ، ومن المحتمل أيضا ما كان يفعله أعضاء فريق الفاج، لم يكن ينظر إلى معظم مادة البيولوجيا كمادة تتصف بمنطق ذى بنية عالية المستوى.

وعندئذ يبقى السؤال حول كيف كان سيبدو الموقف؛ إذ لم نقدم أنا وواطسون بنية الدنا، هذا تاريخ "مشكوك فيه"، وقيل لى عنه إن له اعتباراً حقيقيًا لدى علماء التاريخ،

فإذا لم يستطع عالم التاريخ أن يعطى إجابة مقبولة لمثل هذه الأسئلة فما وظيفة التحليل التاريخى؟ إذا كان جيم قد قتل بكرة تنس؛ فبديهيا أننى متأكد أنه لم يكن فى قدرتى حل مشكلة البنية بمفردى، ولكن من كان يمكنه ذلك؟ كنت أظن أنا وجيم أن لينوس بولينج كان قريبا من التوصل إلى تخمين آخر للبنية إذا كان قد توافر له رؤية بيانات كلية الملك عن الأشعة السينية، لكنه صرّح أنه رغم حبه الفورى لبنيتنا احتاج بعض الوقت لكى يقرر فى النهاية أن بنيته كانت خاطئه. وبدون نموذجنا لم يكن ليفعل ذلك أبدا. وكانت روزاليند فرانكلين قد اقتربت بمقدار خطوتين فقط للوصول إلى الحل. واحتاجت للتأكد من أن السلسلتين يجب أن تكونا فى اتجاهين متعاكسين ، وأن القواعد، بأشكالها الصحيحة متماثلة التركيب المتوازن، كانت مزدوجة مع بعضها البعض. وكانت، على كل حال، على وشك مغادرة كلية الملك والدنا، للعمل بديلا عن ذلك على فيروس التبغ الفسيفائى مع بيرنال. (ولقد توفت بعد خمس سنوات لاحقا فى عمر مبكر يناهز سبع وثلاثون عاما). وأيضا كان موريس ويلكنز، قبل قليل من معرفته بنيتنا، قد قال لنا إنه كان مقدما على العمل وقتا كاملا فى تلك المشكلة. وكان لدعايتنا المتواصلة عن بناء النموذج تأثيرها أيضا، وكان ينوى تجربة ذلك. ولو لم أنجح أنا وجيم، أشك فى أن اكتشاف اللولب المزدوج كان سيتأخر أكثر من فترة تتراوح بين عامين وثلاثة أعوام.

وهناك، من ناحية ثانية، جدل أكثر عمومية، أثاره جانتير ستينت ودعمه مفكر محنك هو بيتير ميداوار. ودار حول أنه إذا لم أكتشف أنا وواطسون البنية، فإن هذا الاكتشاف كان سيصبح هزيلا ولا يصاحبه مثل هذا النجاح ، وأن تأثيره سيكون أقل كثيرا مما حدث. وفى نفس الإطار حاول ستينت أن يبرهن على أن الاكتشاف العلمى أقرب إلى العمل الفنى أكثر من المسموح به عادة. وواصل جدله بأن الشكل له أهمية المضمون.

ولا أقتنع تماما بمثل هذا الجدل، على الأقل فى هذه الحالة. والأكثر قناعة لدىّ من أن واطسون وجريك اكتشفا بنية الدنا، إن هذه البنية هى التى كشفت عن واطسون وجريك؛ فالقول الفصل أننى كنت تقريبا شخصا مجهولا تماما فى ذلك الوقت، وكان ينظر إلى واطسون، فى أغلب الدوائر، بأنه على درجة من الزهو لا تتيح له تعمقا

حقيقيا، ولكن الذى يتم إغفاله فى هذه المناقشات الجمال الجوهرى للولب الدنا المزدوج. إنه الجزىء الذى يتصف بالإبداع، تماما مثل كثير من العلماء. ولم يتم اكتشاف الشفرة الوراثية فى ضربة واحدة، لكنها لم تكن فى حاجة إلى عملية رص بمجرد تجميعها معا. وأشك فى أنه كان سيوجد كل هذا الخلاف الكثير حول أن كولمبوس هو الذى اكتشف أمريكا. والأهم من ذلك أن الأشخاص كانوا متوافرين، وكذلك الأموال لاستثمار الاكتشاف عندما تم التوصل إليه. وأرى أن هذا الجانب من تاريخ بنية الدنا هو الذى يحتاج اهتماما، أكثر من الجوانب الشخصية فى التوصل إلى الاكتشاف، مهما كانت جاذبيتها فى تحولها إلى موضع درس (جيد أو سئ) للعاملين الآخرين.

وفى الحقيقة أن على علماء تاريخ العلم أن يقرروا كيف تم استقبال بنيتنا. وليس ذلك سؤالاً تسهل الإجابة عنه؛ لأنه كان من الطبيعى وجود نطاق واسع من الآراء التى تغيرت مع مرور الوقت. ولا شك، على كل حال، من أنه كان له رد فعل ضخم وفورى على مجموعة مؤثرة من العلماء الناشطين. ويعود الفضل الرئيسى لماكس ديلبروك، فى توزيع نسخ الأوراق الثلاث الأولية على كل الذين حضروا ندوة كولد سبرينج هاربور فى ١٩٥٣ ، وتمت إضافة محاضرة واطسون عن الدنا إلى البرنامج. وفى وقت لاحق ألقيت محاضرة فى معهد روكفلر فى نيويورك، وقيل لى إنها أحدثت اهتماما كبيرا، وذلك يعود جزئيا إلى أننى مزجت تقديما حماسيا لأفكارنا بتقييم هادئ تماما لدليلنا التجريبى، وكانت تقريبا على نفس خطوط المقالة التى ظهرت فى "سيانتيفيك أميريكان" فى أكتوبر ١٩٥٤ . وكان سيدنى برينير، الذى انتهى توا من رسالته للدكتوراه فى أكسفورد تحت إشراف هينشيلوود، قد عيّن نفسه، فى صيف ١٩٥٤، ممثلا لنا فى "كولد سبرينج هاربور". واحتاج بعض الجهد لإقناع ميليسلاف ديميريك، الذى كان المدير عندئذ، بأفكارنا. وانتقل سيدنى من جنوب أفريقيا إلى كمبريدج فى ١٩٥٧ . وأصبح أقرب زملائى إلى، وشاركنى فى مكتب لمدة عشرين عاما تقريبا)، لكن لم يكن الجميع مقتنعين. وأصر بارى كومونير (وهو عالم بيئة حاليا)، بشىء من القوة، على أن علماء الفيزياء يبالغون فى تبسيط البيولوجيا، وهى وجهة نظر لم يكن مخطئا فيها تماما. وقال لى شارجاف، عندما زرته بين ١٩٥٣ و ١٩٥٤ ، (بنفاذ بصيرته المألوف) إنه بينما كانت ورقتنا فى "نيتشر" مثيرة للاهتمام، لم تكن ورقتنا الثانية عن التضمينات الوراثية جيدة

على الإطلاق. واندهشت إلى درجة ما عندما توصلت، فى ١٩٥٩، خلال حديثى مع فريتز ليبمان (عالم الكيمياء الحيوية المعروف)، الذى نظم سلاسل محاضراتى فى روكفلر، إلى أنه لم يفهم رسمنا البيانى لتناسخ الدنا المتطابق. (وظهر أنه كان قد تحدث مع شارجاف). ومع ذلك، قدّم، فى نهاية محاضراتى، خطوطاً عريضة واضحة على نحو رائع لأفكارنا خلال عرضه لخلاصة المحاضرات. وأخبرنى عالم الكيمياء الحيوية أرثر كونبيرج أنه عندما بدأ العمل فى تناسخ الدنا المتطابق، لم يكن يثق فى الآلية التى استخدمناها، لكن تجاربه الخاصة الرائعة أحدثت لديه تحولا فوريا، رغم أن هذا التحول كان دائما حذرا وناقدا. ونتج عن عمله أول دليل تجريبى على أن السلسلتين تمتدان فى اتجاهين متعاكسين. على العموم، بدا لى أننا حصلنا على إنصات واسع جدا، أفضل مما حصل عليه آفرى، وبالتأكيد أكثر بكثير من ماندل.

ما الذى يشبه أن تعيش مع اللولب المزدوج؟ أعتقد أننا تحققنا بشكل فورى تقريبا أننا عثرنا مصادفة على شيء مهم. وتبعا لجيم، ذهبت إلى إيجيل، تلك الحانة على الطريق الذى كنا نتناول فيه غداءنا يوميا ، وقلت لكل من كان هناك إننا اكتشفنا سر الحياة. ولا أذكر أن ذلك حدث، لكننى أتذكر أننى ذهبت إلى المنزل، وقلت لأوديل إننا فيما يبدو توصلنا إلى اكتشاف ضخم. وأخبرتنى بعد ذلك بسنوات أنها لم تصدق كلمة مما قلت حينئذ. وأضافت "كنت تأتى دائما إلى المنزل وتقول أشياء مشابهة" : "لذلك كان من الطبيعى ألا أصدق أيًا منها".

وكان براج ملازما للفراش مريضا بالإنفلونزا فى ذلك الوقت، لكن بمجرد رؤيته النموذج وإدراكه للفكرة الأساسية تحمس على الفور. وتم نسيان الخلافات السابقة، وأصبح أحد أقوى المؤيدين لنا. وكان لدينا تدفق مستمر من الزوار، وكانت هناك زيارة غير متوقعة من أكسفورد أتى ضمنها سيدنى برينير، حتى إن جيم بدأ يسأم سريعا من حماسى الحافل بالتكرار. وفى الحقيقة أنه لم يجد فى نفسه الشجاعة حينئذ، عندما كان يظن أن الأمر كله قد يكون حلما جميلا، لكن البيانات التجريبية من كلية الملك، عندما رأيناها أخيرا، كانت مشجعا عظيما. ومع الصيف تلاشت أغلب شكوكنا، وأصبح فى مقدورنا إلقاء نظرة هادئة على البنية، فارزين سماتها غير الجوهرية (التى كانت غير دقيقة بدرجة ما) من خواصها الأساسية الحقيقية، التى أظهر الوقت صحتها.

وبعد عدد من السنوات التالية، كانت الأمور هادئة تماما. أطلقت على منزلى العائلى فى كمبريدج فى بورتوجال بلاس "اللولب الذهبى" ، ووضعت فى آخر الأمر لولبا نحاسيا بسيطا على واجهته، رغم أنه كان لولبا مفردا وليس مزدوجا. وكان مفترضا عدم الرمز للدنا، ولكن للفكرة الرئيسية للولب. ووصفته بأنه ذهبى على طريقة أبوليوس الذى أطلق على قصته "الحمار الذهبى" بمعنى الجميل. وسألنى الناس كثيرا ما إذا كنت أنوى طليه بالذهب، لكننا لم نذهب أبدا لأبعد من طليه باللون الأصفر .

وأخيرا قد يتساءل البعض عن الجانب الشخصى _هل أنا سعيد أن الأمر حدث بهذا الشكل؟ أستطيع الإجابة فقط بأننى تمتعت بكل دقيقة فيه، بأحداث السقوط والصعود. وساعدنى ذلك بالتأكيد فى دعايتى التالية للشفرة الوراثية، ولكن للتعبير عن مشاعرى الخاصة، لا يمكننى عمل شىء أفضل من الاقتباس من محاضرة رائعة تتسم بالتبصر سمعتها منذ سنوات فى كمبريدج من الرسام جون مينتون، قال خلالها عن إبداعاته الفنية الخاصة : "أهم شىء أن تكون هناك عندما يتم رسم اللوحة". هذا، كما يبدو لى، هو جزئيا نوع من الحظ وجزئيا قرار جيد، وإلهام، وتطبيق مثابر.

كان يوجد فى بداية الخمسينيات ناد صغير مقصور على الأعضاء للفيزياء الحيوية فى كمبريدج، يطلق عليه نادى هاردى، على اسم عالم بالحيوان فى كمبريدج من الجيل السابق تحول إلى عالم كيمياء فيزيائية. وتتضمن قائمة الأعضاء المبكرين حاليا حلقة للمشاهير، متخمة بالحاصلين على جوائز نوبل وحاملى زمالة الجمعية الملكية، لكننا فى تلك الأيام كنا شبابا إلى حد ما ، ولم يكن أغلبنا معروفا بشكل خاص. كنا نتباهى بزمالة واحدة فى الجمعية الملكية – ألان هودجكين – وعضوية واحدة فى مجلس اللوردات – فيكتور روثشيلد. وطُلب من جيم أن يعطى محاضرة مسائية لهذا التجمع المميز. وكان المحاضر يتناول عادة وجبة أولا فى بيتيرهاوس. وكان الطعام هناك دائما جيدا ، لكن كان شراب الشاى ينهال على المحاضر قبل الطعام، مع نبيذ، وإذا كان متهوراً تماما بحيث يقبلها، تقدم إليه المشروبات بعد الطعام أيضا. ورأيت أكثر من محاضر واحد يجاهد لشق طريقه بين موضوعاته خلال ضباب الكحول.

ولم يكن جيم استثناء. ورغم كل ذلك نجح فى إعطاء وصف ملائم إلى حد ما للنقاط الرئيسية للبنية والأدلة التى تدعمها، لكنه عندما وصل إلى تقديم الخلاصة كان منهكا وفاقدا للكلمات. وتفرس فى النموذج، غائم العينين بأداء غير متقن. وكل ما نجح فى قوله " إنها بكل هذا الجمال، هل ترون، بالغة الجمال" ، ولقد كانت عندئذ ، بالطبع، كذلك.

الفصل السابع

كتب وأفلام عن الدنا

عبر السنوات جذب اكتشاف اللولب المزدوج انتباه تشكيلة واسعة من الناس، من علماء تاريخ العلم حتى صناع الأفلام فى هوليوود. وأفضل رواية مشهورة كتبها جيم واطسون باسم "اللولب المزدوج". وكانت على قائمة أفضل المبيعات عند نشرها فى ١٩٦٨، وظلت مبيعاتها مطردة منذ ذلك الحين. واجتذبت كثيرا من العروض الجذابة للكتب، كان أفضلها فى الطبعة النقدية، التى نشرها نورتون. ورفض شارجاف النموذجى، دون ريب، السماح بإعادة نشر عرضه الخاص. وكان هناك عرض للعروض بواسطة جونثير ستينت، الذى وضع الكتاب والعروض المختلفة بصرامة وعلى نحو مضبوط فى نصابها الصحيح.

وأذكر عندما كان جيم يكتب كتابه أنه قرأ لى فصلا، وكنا نتناول الطعام معا فى مطعم صغير بالقرب من ميدان هارفارد. ووجدت صعوبة فى أخذ روايته مأخذا جادا. وسألته "من قد يرغب فى قراءة هذا الهراء؟" وكم كنت قليل المعرفة! وأدت سنوات تركيزى على المشاكل الفاتنة فى البيولوجيا الجزيئية، من جوانب ما، إلى العيش فى برج عاج؛ حيث كان الأشخاص الذين قابلتهم منشغلين بشكل رئيسى بالاهتمامات العقلية المرتبطة بتلك المشاكل، ولابد أننى افترضت ضمنا أن كل شخص له نفس الموقف. والآن تحسنت معرفتى. ويمكن للشخص العادى أن يتمتع عادة بشىء ما إذا كان يرتبط فقط بما يعلمه فعلا، وما يعرفه عن العلم يكون فى أحوال كثيرة غير صحيح بشكل يرثى له. والمألوف غالبا لكل الناس هى أهواء السلوك الشخصى. ويجد الناس أنه من الأكثر سهولة الإعجاب البالغ بقصص التنافس، والفشل، والحقد، مع خلفية من الحفلات، والفتيات الأجنبيات على قوارب فى النهر، عن التفاصيل التى يتضمنها العلم.

والآن أقدر كم كان جيم ماهرا، ليس فقط بجعل كتابه مقروءًا مثل قصة بوليسية (قال لى أناس كثيرون إنهم كانوا عاجزين عن الإلقاء به جانبا)، ولكن أيضا بالنجاح فى تضمينه كمية ضخمة مدهشة من العلم، رغم أنه بالضرورة تم الاستغناء عن الأجزاء الأكثر امتلاء بالرياضيات. والجزء المفاجئ الوحيد فى الكتاب هو إشارة جيم إلى تفكيره فى جائزة نوبل. ولم يسمع ماكس بيروتز، وجون كيندرو، وأنا أيضا، جيم يتكلم عن ذلك أبدا، لذلك فلو كان يفكر فى ستوكهولم ؛ فلابد أنه احتفظ تماما بتلك الأفكار فى نفسه. وبالنسبة لنا كان يبدو مدفوعا بشدة بالأهمية العلمية للمشكلة. ولم يخطر على بالى أن اكتشافنا يستحق جائزة إلا متأخرا فى ١٩٥٦ ، وحدث ذلك حينئذ فقط بسبب الملحوظة العرضية التى أبداها لى فرانك بوتنام عن الموضوع.

ولحسن حظ الراغبين حقا فى معرفة ما كان يدور حوله الموضوع كله، توجد أعمال أكثر ثقافة. تناول روبرت أولبى، فى "الطريق إلى اللولب المزدوج"، القصة من تطوير فكرة الجزيئات الكبيرة حتى الاكتشاف نفسه. وتعتبر قصة هوراس فريلاند جودسان، التى تحمل عنوان "يوم الخلق الثامن" (ربما اقترحه الناشر)، أكثر حيوية بشكل ما؛ حيث إنها تتضمن مقتطفات حرفية مطولة جدا من أغلب المشاركين. وتبدأ قصته بوقت أقرب إلى زمن اكتشاف اللولب المزدوج، وتواصل تتبع الأحداث عبر نحو عشر سنوات أخرى حتى حل ألغاز الشفرة الوراثية. والكتابان كلاهما ضخم ومكتنز. وقد يحتاجان بعض الوقت للغوص فيهما، لكنهما يقدمان القصص الأكثر اكتمالا والاكثر توازنا حتى إنها تستعرض بدايات البيولوجيا الجزيئية الكلاسيكية.

وفى بداية السبعينيات اتصل بى رونى فوراكر الراحل، الذى أراد عمل فيلم وثائقى عن الاكتشاف. ووافق جيم وموريس على المشاركة. واستغرق التصوير فى كمبريدج نحو ثلاثة أيام، وتم إنجاز جزء صغير منه فى إيجل. وبعد ذلك أقمت أنا وأوديل حفلا متألقا لطاقم الفيلم فى جولدين هيليكس _ وكان من التألق بمكان حتى أن رونى ندم على عدم إحضار كاميرته معه لتصوير بعض لقطات من الحفل من أجل الفيلم. وكانت عملية التصوير ذاتها مجهدة، لكنها كانت مبهجة. وبمجرد انتهائها اكتشفت أننى نسيت تماما وسط الإثارة عيد ميلاد أوديل، وهو ما لم أفعله أبدا من قبل ولا حدث بعد ذلك.

وأنجز رونى نسختين مختلفتين: إحداهما، فيلم أكثر تقنية للجامعات والمدارس. والنسخة الأخرى للمشاهدين العاديين، ووجد بعض الصعوبة فى إعطاء قالب للفيلم الثانى.

وتم إنتاج نحو ثلاث نسخ، جزئيا بالتعاون مع بى.بى.سى. وأعتقد أن النسخة النهائية، مع فيلم إسحاق أزيموف كانت الأفضل. وظهرت نسخة أو أخرى تحت اسم "هوريزون" فى إنجلترا أو اسم "نوفا" فى الولايات المتحدة.

وخلال سنوات ظهرت دعابات حول أشكال التعبير الأخرى الممكنة. هل يمكن التعبير عن الاكتشاف من خلال كوميديا موسيقية، مثلا؟ وكتب سيدنى برينير سيناريو لقصة على طريقة رعاة البقر. وكان على جيم أن يكون راعى البقر المنعزل: وماكس، كاتب التلجراف، وأنا، مغامر فى قارب نهرى! وأحدثت التفاصيل، المزخرفة بطريقة ساحرة، مزيدا من المرح الصاخب لدى المستمعين إليه.

وكان لدى جيم طموحات أخرى. كان يأمل فى فيلم روائى كامل. وكنت أعيش منذ ١٩٧٦ فى ساوثرن كاليفورنيا، وقابلت صدفة أشخاصا من عالم السينما. وفى وقت ما بدا أن "فوكس للقرن العشرين" لديها اهتمام ما، لكنها لم تواصل الاهتمام. وفى آخر الأمر اتصل بنا لارى باشمان، منتج الأفلام الأمريكى الشهير جدا. وكنت معارضا بشدة إعطائه إذنى. وأتاح لارى لى ولأوديل، مع صديقين، رؤية جزء من تصوير آخر أفلامه "حياة مَن، على أية حال؟" وطلب منا فى وقت لاحق مشاهدة "النسخة غير المكتملة" _ وهى أول نسخة كاملة، رغم أنها من عدة نواح لم تنته بعد.

وقبل الذهاب إلى هوليوود، كنت قد قررت معارضة عمل أى فيلم عن اكتشافنا للولب المزدوج، حتى إننى كتبت مسودة خطاب لهذا الغرض، لكن مشاهدة الفيلم الذى أنتجه لارى أدت إلى تغيير رأيى. لقد نجح فى تناول موضوع مهم بطريقة جادة، ملطفا إياه بلمسات مرحة. وقبل مضى وقت طويل كان لى ولجيم وكيل فى هوليوود ومحام فى هوليوود أيضا. وزرنا بعض المنتجين الآخرين الذين أبدوا اهتماما ، لكنهم بدو لنا كاريكاتيرا للمنتج الهوليوودى "النموذجى"؛ حيث ينصب اهتمامهم بشكل رئيسى فى تحويل القصة الحقيقية إلى قصة أخرى ذات وقائع مثيرة.

وكان لارى، من ناحية أخرى، قد أبدى اهتماما جادا بالاكتشاف، رغم أن ما كان يغريه بشكل رئيسى هو دراما القصة ومجموعة الشخصيات؛ فماذا عن المجموعة؟

الشاب المتهور من ميدويست، الرجل البريطانى الذى يتكلم كثيرا (ولابد أن يكون عندئذ عبقرى؛ حيث إن العباقرة إما أنهم يتكلمون طول الوقت أو لا يقولون شيئا بالمرة)، والجيل الأكبر، المتخم بجوائز نوبل، وأهم ما فى الجميع، امرأة متحررة يبدو عليها أنها تُعامل بطريقة ظالمة. ويضاف إلى ذلك بعض الشخصيات التى تتشاجر فعلا، بل يتقاتلون تقريبا. والشخص العادى يسره أن يعلم أنه فى نهاية الأمر، رغم الصعوبة التامة فى فهم العلم، فإن العلماء بشر، حتى لو كانت كلمة بشر تصف بشكل أكثر دقة سلوك الثدييات أكثر من وصفها أى شىء آخر مميز بالنسبة لنوعنا الخاص، مثل الرياضيات.

وبذل لارى بعض الجهد ليدرس بإمعان القصص المختلفة عن الاكتشاف وللحديث مع كثير من الأشخاص ذوى العلاقة بالموضوع. وقبل أن يتمكن من البدء فى العمل، كان يجب كتابة عقد طويل يعالج كل الاحتمالات المتوقعة والتوقيع عليه. ومثال لذلك، تم بإسهاب تحديد دقيق للنصيب فى الأرباح (إذا وجدت) الذى يمكننا الحصول عليه إذا تم عمل كوميديا موسيقية فعلا. واحتفظنا، على ما أذكر، بحقوق أى كتاب هزلى. وحصلنا على تلك الحقوق؛ لأنه لا يوجد صانع فيلم يوافق على البدء فى فيلم عن شخص ما لايزال حيا إلا إذا وقع ذلك الشخص عقدا يسمح للممثل بتمثيل شخصيته. وإلا سيكون هناك خطر يواجه صانع الفيلم؛ حيث يحتمل أن يتلقى صفعة عبارة عن إنذار قانونى فى منتصف عملية التصوير، وهو ما يمكن أن يكون مدمرا ماليا، مهما كانت الحصيلة. وكان لنا درجة أقل من الحماية إلى حد ما: يمكننا مقاضاتهم إذا نسبوا إلينا أفعالا إجرامية، أو أفعالا تمثل انحرافا جنسيا، ولكن فى حالة إضرارهم بسمعتنا المهنية ليس من حقنا مطالبتهم بأى شىء. وتعلمنا سريعا، أنه كما هو الحال فى المهن الأخرى، دافع المال أحق أن يكون له الرأى فى كيفية إنفاقه. وقد يحتاج الأمر إلى ربع مليون دولار لإنتاج سيناريو، بينما من المرجح أن يتكلف الفيلم الكامل رقما يصل إلى مليون دولار. وكلما زادت الأموال المستخدمة، قل حق المرء فى الكلام. قال وكيلنا فى المرة الأولى التى قابلناه فيها : "آمل أن تكونا قد أدركتما، أنه يمكنهم أن يقدموا أى شىء يرغبون فيه عنكم" . وعندما اتهمنا لارى بذلك قال ببساطة : " يجب أن تثقا بى" ، وهذا ما حدث تقريبا.

ومع ذلك، قلت للارى إننى أظن أنه من المستحيل عمل فيلم روائى كامل من القصة؛ حيث إنها لا تحتوى على ما يكفى من الجنس والعنف. وخلال مدة تمتد إلى عدة سنوات حاول بشدة هو والمؤلفون المشاركون إنتاج مخطوطة فيلم مناسب، لكن الأمر كان فى النهاية كما توقعت. وتم رفض النسخة النهائية من قبل المناصرين للعمل، حتى رغم إضافة كمية بسيطة من العنف والجنس لإعطاء حيوية للقصة.

لابد أن هناك قاعدة عامة مؤداها أنه كلما ازدادت معالجة القصة بطريقة تتسم بالثقافة العالية، كلما كان عدد من تجذبهم من المشاهدين أقل. وعدد المشاهدين الذين يجعلون إنتاج الفيلم الروائى مجديا من الناحية المالية أكبر بكثير جدا مما تستطيع قصة عن الدنا أن تجتذبه . وبالأحرى ، فإن القصة تناسب أكثر إخراجها فى مسرحية أو ، من المحتمل، فيلم محدود التوزيع. ولا يساهم فى حل هذه المشكلة حقيقة أن الأشخاص الأكبر سنا فى المشاهدين المتوقعين، رغم أنهم قد يكونون سمعوا عن الدنا، يعرفون بالكاد ما هو الدنا، فى حين أنه بالنسبة لبعض الأشخاص الأصغر سنا تعتبر بنية الدنا موضة قديمة؛ حيث إنهم تعلموا كل ما يخصه فى المدرسة.

ويعيش لارى باشمان حاليا فى قصر ساحر فى مزرعة فى قرية تبعد بضع أميال عن أكسفورد. وحصل على حقوق تناول الطعام فى جرين جوليدج، وأحبوه كثيرا لدرجة أنهم منحوه زمالة. وشغل نفسه بإعادة تنظيم التنس فى أكسفورد (حيث إنه لاعب تنس ماهر)، وبتشجيع المسرحيين المحليين، وحتى بإرشاد الجامعة عن كيفية جمع الأموال. ونتقابل من وقت إلى آخر، إما فى أكسفورد أو فى نادى التنس فى بيفرلى هيلز، لنتحادث فى غير كلفة حول أحداث الحياة.

وفى ١٩٨٤ اتصل بى وبجيم ميك جاكسون من بى.بى.سى، وهو منتج فى بى.بى.سى، راغبا فى إنتاج ديكودراما عن اكتشاف الدنا. (وتدل الديكودراما على شىء بين الفيلم الوثائقى والدراما). وقد يحاول هذا الشكل السينمائى أن يكون أكثر التصاقا بالحقائق مقارنة بمعالجة الفيلم العادى، لكنه قد يتصرف فى القصة بحيث يجعلها جذابة سينمائيا. وقد يؤدى ممثلون أدوارنا أنا وجيم والشخصيات الأخرى.

وكنت أفضل أن تفعل بى.بى.سى. شيئا، بالدرجة الأولى بسبب سمعتها الحسنة فى مجال عمليات الإنتاج المتقنة والدقيقة تماما. وفى آخر الأمر، تراجع جيم، رغم أنه

كان منجذبا للعمل في البداية، عن تعاونه، قائلا لي إنه يرى أن معالجة بي.بي.سي. قد تكون ضعيفة جدا. وماذا كانت فكرة جيم الخاصة بالضبط عن النسخة الأكثر إثارة، كان ذلك أمرا لم يتضح أبدا.

واستشرت كلا من ميك جاكسون وكاتب السيناريو بيل نيكلسون. وتم إجراء كثير من الأبحاث بواسطة جين كاليندر، التي أصبحت مطلعة جيدا على الشخصيات الموجودة في القصة وتفاصيلها. وتم بث البرنامج الذي بلغت مدته ١٠٦ دقيقة، وأطلق عليه "قصة حياة" في إنجلترا في ٢٧ أبريل ١٩٨٧ . وبدأ عرض النسخة الأمريكية، التي أطلق عليها " اللولب المزدوج" في قناة "أرتس أند إنترتينمنت" في وقت لاحق في نفس العام. ولعب دور جيم الممثل ألان جولدبلوم، ولعب دوري تيم بيجوت _سميث، ولعب ألان هووارد دور موريس، وجوليت ستيفينسون دور روزاليند. وقوبلت أغلب العروض بالإطراء، ونفس الأمر حدث في الاستجابة الواسعة _على الهاتف مع بي.بي.سي. وكنت مندهشا بدرجة ما لهذا الاستقبال الجيد، لكن ميك قال لي إن قطاعا واسعا من جمهور المشاهدين البريطاني كان مندهشا بأن يجد العلماء يتصرفون مثل البشر العاديين. وعندما قلت إنني أظن أن كتاب جيم كان قد جعل فعلا هذه الفكرة شائعة تماما، رد ميك أن كثيرا من مشاهدي التلفزيون قد لا يكونون قرأوا أبدا ذلك الكتاب.

واتبع البرنامج بدقة الخطوط الرئيسية في القصة. وعرض حياة روزاليند في باريس، مع صديقها ومستشارها فيتوريو لوزاتي قبل انتقالها إلى كلية الملك في لندن للعمل في الدنا في مختبر جون راندال. وشدد إلى حد ما على التمييزات التي واجهتها روزاليند، كامرأة، بين باريس ولندن. وتم إبراز فشل موريس وروزاليند في التعاون بوضوح. وفي كمبريدج نرى جيم حيث يتم تقديمه إلى طاقم الكلية عن طريق بيروتز، ثم هو يقابلني. وتم التصوير الدقيق للإخفاق التام لمحاولتنا الأولى في بناء النموذج، وكذلك ردود أفعال العاملين في كلية الملك، رغم أن التأنيب الذي تلقيناه من براج كان زائفا. وتضمنت المشاهد الأخرى مقابلتنا لشارجاف وحوارنا مع جون جريفيث حول ازدواج القواعد. ويرى بيتر بولينج الشاب المتهور، ابن لينوس، وهو يصل إلى كمبريدج. وبعد قليل أبرز نسخة من الورقة العلمية لأبيه حول السلاسل الثلاث الخاطئة لنموذج الدنا. وروزاليند وقد تملكها الغضب تجاه جيم عندما ذهب إلى لندن ليعرض عليها ورقة

لينوس. وموريس وهو يعرض على جيم، بتعاطف، الصورة التى تكشف الشكل بى، التى التقطتها روزاليند لكنها وضعت جانبا فى الوقت الذى كانت فيه روزاليند تجاهد لالتقاط صور أكثر تفاصيل للشكل إيه. وكان قد تم إعداد المشاهدين قبل هذه المشاهد، ليقدروا أهمية تلك الصورة، بالمحاضرة القصيرة التى ألقيتها على جيم حول تحليل الأشعة السينية بواسطة اللولب. ولا شك أن رؤية تلك الصورة المثيرة دفعنا إلى العمل، لكن الحقيقة أن بياناتها تم توفيرها لنا بوسائل أخرى.

وفى النهاية نرى جيرى دونوهى يبلغنا بأننا استخدمنا تركيبات خاطئة (أشكال متماثلة كيميائيا) للقواعد، وعندها تمكن جيم من التوصل إلى أزواج القواعد الصحيحة. وبعد ذلك أصبح التوصل إلى النموذج حتميا، ثم نشاهد نوعا من ذروة الأحداث بالغ التشويق، يتبعه تدفق للزوار، بينما يبدو اللولب المزدوج دائرا بشكل متعاقب مع موسيقى سماوية، وينتهى الفيلم بمشهد روزاليند تعرض النموذج وجيم يتحادث مع اخته فوق جسر على الكام.

ومن الصعب بالنسبة لى أن أصدر حكما على "قصة حياة"؛ لأننى كنت قريبا جدا من الأحداث الفعلية. ويتمتع كل شخص تقريبا بمراقبة الحكاية، وهى تتضح بالتدريج على الشاشة. ورغم الإصرار على تهوين قيمة العلم، تم عرض كمية ضخمة مدهشة منه، ورغم شكى فى أن أغلب المشاهدين أدركوا أن الدنا ليس جزيئًا قصيراً بديناً ، بل جزيئًا طويلاً نحيلاً. ولو كنا قد جعلنا نموذجنا أقرب إلى طوله الحقيقى لكان قد تجاوز السحب.

وكان النموذج الذى بنيناه جزءاً بالغ الضآلة بالنسبة للأطوال الموجودة فى الطبيعة.

ومن الظلم البيّن انتقاد بى.بى.سى. على عدم تحقيق الدقة الواقعية التامة. ويمكن لمن يهتم بمعرفة ما حدث فعلا الاقتراب أكثر من الحقيقة بقراءة الروايات المطبوعة التى استعرضناها سابقا. وكانت "قصة حياة" تحاول أن تتجاوز الطبيعة العامة للاكتشاف، وتعرض بمصطلحات واضحة كيفية التوصل إليه وكيف تم الترحيب به.

وفى الوقت الذى جاهدت فيه بى.بى.سى لكى يكون عملها مضبوطا من الناحية الواقعية، لم يكن لديها تردد فى تصوير التداخل بين الوقائع وتبديل المشاهد. والمشهد

بين موريس،جيم، وبينى، الذى تم عرضه كما لو كان قد حدث فى حدائق الكلية بالقرب من النهر، حدث فعلا فى حجرة الطعام فى منزلى. والحفلة؛ حيث كان الرجال فى أردية رجال الدين، حدثت فى الواقع فى منزل بيتر ميتشيل، لكن الحوار بين جون جريفيث وبينى فى تلك الحفلة حدث فى حانة فعلا. ولم نقابل شارجاف خلال تناول وجبة فى الكلية، لكن تلك التنقلات تبدو لى مقبولة تماما؛ حيث إنها تخدم الأجزاء المهمة فى القصة والبيئة المحلية أيضا، حتى لو لم تكن التوليفات التى تم عرضها هى الأحداث الحقيقة.

وهناك مزيد من بعض الأخطاء الملفتة للنظر. ومن الأمور المدهشة، لا أعتقد أن قواعد شارجاف كانت تتصدر عقل جيم عندما عثر بالمصادفة على أزواج القواعد السليمة. ومن الأخطاء الأكثر خطورة الكلمات التى وضعت على لسان روزاليند؛ حيث قالت لموريس ويلكينز "قد يكون تخمينك صحيح أو غير صحيح. لا يمكننا الحكم حتى ننجز العمل، وعندما نؤدى العمل لن نحتاج إلى التخمينات؛ لأننا سنعرف الإجابة؛ (لذلك) ما ضرورة التخمينات؟".

ويبدو لهذا الحوار، سطحيا، قوة جديرة بالاعتبار، لكنه غير صحيح. وكما تم توضيحه سابقا، تتيح الأشعة السينية نصف البيانات المطلوبة فقط. ولهذا السبب يستحق النموذج الجيد وزنه ذهبا، خاصة إذا كان التحليل بالأشعة السينية قليل إلى حد ما، كما هو الأمر فى حالة الدنا. ومن المستبعد أن تكون روزاليند قد تفوهت بمثل تلك الكلمات. وإذا كانت قد فعلت، فإن معنى ذلك أنها لم تكن قد فكرت على نحو ملائم فى المشكلة التى تواجهها.

وتم التلميح، وإن لم يتم التصريح فعلا، بأن روزاليند ورفيقها الباريسى كانا حبيبين.

وسيدهشنى تماما أن يكون ذلك حقيقى. كان فيتوريو، وهو شخصية أكثر حيوية من تلك التى رسمها الفيلم، فى الواقع رجلا متزوجا. وكانت روزاليند صديقة للزوجين لوزاتيس، تماما كما كانت بالنسبة لآرون كملوج وزوجته وبالنسبة لأوديل ولى. وأظن أن روزاليند كانت تحب مثل هذه الصداقات إلى حد ما؛ حيث يمكنها التفاعل علميا مع الزوج مع تمتعها بصحبة كلا الزوجين. يمكنها أن تكون صديقة وتسترخى دون أى

خطر من التورط الجنسي. وكان فيتوريو في ذلك الوقت أقرب مرشد علمي إليها، لكن كان لديه خبرة قليلة في حل مشاكل أشكال الجزيئات العضوية بطريقة بولينج؛ لذلك كانت نصيحته، رغم صحتها الظاهرية، مضللة في الحقيقة إلى حد ما.

وكانت لتلك المعالجة بعض مواطن الضعف المشوقة. امتلأ كاتب السيناريو، بيل نيكولسون، بالبهجة عندما علم بالاخفاق التام لنموذجنا الأول؛ لأن ذلك بدا له مناسبا للبنية الدرامية النموذجية. وحسب تعبيره، "فتى يقابل فتاة، يفقد الفتى الفتاة، يستعيد الفتى الفتاة" أو، كما أوضح لي، الفشل في منتصف العمل يجعل المشاهدين متعاطفين في جانب أحد "البطلين". ولم أستطع منع نفسي من التفكير مليا في أننا عندما كنا نمارس تخبطنا حول المحتوى المائي لم نكن نحاول إعطاء مجهوداتنا شكلا دراميا. كنا نأمل في التوصل إلى البنية الصحيحة.

وكان القطع السريع للخلف وللأمام بين لندن وكمبريدج كلما اقتربت ذروة الأحداث مطابق للوقائع، حتى عندما تكون الإثارة في أوجها، لكن السمة الكلية للنهاية تم تحريفها لصالح التشويق السينمائي. ورغم الإثارة التي عايشناها عند اكتشافنا للولب المزدوج، لم نفكر نحن ولا أي شخص آخر في هذا الاكتشاف كنجاح عاصف. وفي الحقيقة كان جيم يخشى أن يكون كل ما توصلنا إليه خطأ، وأننا قد نجعل من أنفسنا بلهاء مرة أخرى. وبالتالي فإن الاحتفالات والتهاني كانت تلفيقات من خيال كاتب السيناريو. وقد يصف أغلب الناس البنية بأنها "مشوقة" أو "مثيرة للإيحاءات"، لكن قليلاً منهم من كان واثقا في تلك المرحلة أن اللولب المزدوج كان صحيحًا حقا. وما يصعب اغتفاره أيضا التحريف "الأدبي" في نهاية الفيلم؛ فإن فكرة أن جيم كان مطمئن النفس (خلال حديثه المختلق على الجسر مع اخته)؛ لأنه أنجز كل آماله، هي فكرة بعيدة تماما عن الواقع. إضافة إلى ذلك فشل الفيلم في تصوير "النهاية" الحقيقية – أن اللولب المزدوج لم يكن نهاية لكنه كان بداية، ويعود ذلك إلى الأفكار التي طرحها حول استنساخ الجين، تركيب البروتين، ... إلخ. وهذا ما كنا منشغلين به خلال ما تبقى من الصيف ولعدة سنوات لاحقة. وجاء الحديث عن الجوائز والنجاح فقط بعد ذلك بوقت طويل. وعندما عدت إلى كمبريدج من الولايات المتحدة في أواخر صيف ١٩٥٤ لم يكن مجلس الأبحاث الطبي يفكر في تثبيتي في منصبي رغم أنني كنت قد بلغت من العمر عندئذ ثمان وثلاثون عاما. وعرضوا عليّ وظيفة لمدة سبع سنوات، ولو أنهم بعد

عام لاحق أو ما يقرب من عام حولوها إلى وظيفة غير محددة (تعادل التثبيت لدى مجلس الأبحاث الطبى).

وبالنسبة للممثلين، أظن أن جيف جولدبلوم كان شديد الاهتياج تماما فى دور جيم ومهتم بشكل مبالغ فيه تماما بالفتيات. وشكا لى ميك جاكسون قائلا "لم يخبرنى أحد بأن جيم لا يلوك العلكة"، ولو كان قد لاحظ جيدا لاكتشف أنه غالبا لا يوجد عالم يلوك العلكة، ولا حتى الشباب الأمريكى المتهور. كان سلوك جيم الطبيعى أكثر لطفا. واقترب جولدبلوم من الشخصية بطريقة أفضل إلى حد ما فى مشهد الحفلة بالملابس الرسمية، عندما واجه سؤالا حول ما إذا كان كاهنا (رجل دين فى الكنيسة الإنجليزية). واتفق أن جيم كان قد أجاب بنعم فى الحفلة الفعلية. وامتحنته السائلة، وكانت شابة أمريكية، نحو نصف ساعة حول تربية أطفالها روحيا ، وتكدرت تماما عندما اكتشفت بالصدفة أنه لم يكن بتاتا رجل دين.

وبالنسبة للممثلين الآخرين، أمكن التعرف فورا على ماكس بيروتز، رايموند جوستلينج، موريس ويلكينز، بيتر بولينج، وإليزابيث واتسون، لكن الأداء المهم حقا كان من نصيب جوليت ستيفينسون فى دور روزاليند. لم تكن المرتكز الحقيقى للفيلم فقط – كانت تقريبا الشخصية الوحيدة التى بدت فعلا عاملة فى مجال العلم – بل وكان لدينا اقتناع داخلى بها أكثر حبكة من أغلب الشخصيات الأخرى. إضافة إلى أن كاتب السيناريو نقل الملمح العام لخطأ روزاليند فى التقييم فى مجال أفضل طريقة لحل المشكلة.

وبعد، هل على المرء أن ينسل هاربا من "قصة حياة"؟ إنه يتجاوز بالتأكيد الحقيقة البينة أن البحث العلمى يتم إنجازه بواسطة بشر، بكل فضائلهم ونواحى ضعفهم . ولا يوجد أى أثر لشخصية العالم المقولب عديم العاطفة، الذى يحل المشاكل بالمنطق الصارم. ويعرض الفيلم، على الأقل فى خطوطه العامة، كيف يتم إنجاز العلم، رغم أن غالبية الأبحاث تحتاج كدحا أكثر وتكون أقل درامية من اكتشاف اللولب المزدوج، بل إنه أوضح، بطريقة أولية، مجموعة معينة من المعلومات العلمية الأساسية. وأهم ما فى الأمر، بالرغم من القيود التى واجهته، يمكن اعتبار "قصة حياة" ناجحا. ومن ناحية أخرى كان يمكن له أن يفشل بسهولة مثلما أصبح جيد جدا.

الفصل الثامن

الشفرة الوراثية

بعد أن أصبح اللولب المزدوج واضحا على مرمى العين، ظهرت المشكلة التالية، ما الذى يفعله - كيف يؤثر على باقى الخلية؟ وكنا نعرف الإجابة فى ذلك الحين فى خطوطها العريضة. تحدد الجينات تتالى الحمض الأمينى للبروتينات، ولأن السلسلة الفقرية لبنية الحمض النووى بدت منتظمة إلى حد كبير، افترضنا، وكان ذلك صحيحا، أن تتالى القاعدة هو الذى يحمل تلك المعلومات، وحيث إن الدنا فى نواة الخلية، وأن تركيب البروتين يحدث على ما يبدو خارج النواة، فى السيتوبلازم، تخيلنا أنه يجب إرسال نسخة من كل جين ناشط إلى السيتوبلازم، ولأنه يوجد هناك وفرة من الرنا، ولا أثر واضح للدنا، افترضنا أن ذلك المرسال هو الرنا. وكان من السهل بدرجة كافية إدراك كيف يمكن لمقطع من الدنا أن ينتج نسخة رنا - يمكن لآلية ازدواج قاعدة أن يؤدى تلك الحيلة - ولكن الذى كان أقل سهولة هو إدراك كيف يمكن للرنا المرسال (كما علينا أن نسميه الآن) توجيه عملية تركيب البروتين، خاصة أن القليل جدا كان معروفا فى ذلك الحين عن العملية الأخيرة.

إضافة إلى ذلك كان هناك مشكلة معلوماتية. كنا على علم بوجود نحو عشرين نوعا مختلفا من الأحماض الأمينية - الوحدات الصغيرة التى تتركب منها سلاسل البروتين - ومع ذلك يوجد أربعة أنواع مختلفة فقط من القواعد فى الدنا والرنا. ويمكن أن يكون أحد الحلول قراءة تتابع الحمض الأمينى قاعدتين فى وقت واحد. وينتج عن ذلك ستة عشر احتمالاً فقط (٤×٤)، وهو ما يبدو قليل جدا. وكان البديل الآخر قراءتها ثلاثة فى نفس الوقت. ويعطى ذلك أربعة وستون احتمالاً (٤×٤×٤) لتوافقات القواعد الأربع أ، ث، ج، س. وبدا ذلك كثير جدا.

وقد يساعدك فى فهم المعلومات التالية أن أقدم لك ما نعرفه حاليا عن الشفرة الوراثية. وللأسف يتم استخدام الجملة "شفرة وراثية" حاليا بطريقتين متميزتين تماما. كثيرا ما يستخدمها الرجل العادى لتعنى الرسالة الوراثية الكاملة لدى كائن حى. ويعنى بها عالم البيولوجيا الجزيئية عادة القاموس الصغير الذى يوضح كيفية الربط بين لغة الأربعة أحرف للأحماض الأمينية ولغة العشرين حرفا للبروتينات، تماما كما تربط شفرة مورس لغة النقاط والشرط بالستة وعشرين حرفا فى الحروف الأبجدية.

وسوف أستخدم المصطلح بمعناه الأخير، وتوجد التفاصيل فى الملحق ب، الذى يعرض القاموس الصغير على هيئة جدول. وليس ضروريا أن تهم تفاصيل الجدول القارئ العادى. وكل ما عليك أن تعرفه أن الرسالة الوراثية تقرأ فى مجموعات غير متراكبة من ثلاث قواعد معا (بالنسبة للرنا، القواعد هى أ، ى، ج، س). وتسمى المجموعة الثلاثية كودونا، مصطلح ابتكره سيدنى برينير. واتضح أنه يوجد عشرون نوعا فقط من الأحماض الأمينية يتم التشفير لها. وفى الشفرة المعيارية يكون لكل اثنين من الأحماض الأمينية كودون واحد، وكثير من الشفرات لها اثنان، وواحدة لها ثلاثة، وبضعة لها أربعة، واثنان منها لها ست كودونات. إضافة إلى ذلك يوجد ثلاث كودونات ل "نهاية السلسلة" ("بداية السلسلة" أكثر تعقيدا بعض الشىء). ومحصلة ذلك أربع وستون كودونا إجمالا، ولا يوجد كودون غير مستخدم.

والمصطلح التقنى السليم لعملية الترجمة هذه، بشكل دقيق، ليس الشفرة code ولكن الجفر cipher ، وبنفس الطريقة يجب أن يطلق على شفرة مورس فعلا جفر مورس. ولم أكن على علم بذلك حينئذ، الذى كان يعود للأسف إلى أن "الشفرة الوراثية" تبدو أكثر أثارة للفضول بكثير مقارنة ب "الجفر الوراثى".

ومن الأمور المهمة التى يجب ملاحظتها أنه رغم أن الشفرة الوراثية ذات تناسقات محددة _ فى بضع حالات تكون القاعدتين الأوليتين التى تشفر حامض أمينى واحد، ووظيفة الثالثة لا علاقة لها بالموضوع _ وليس لبنيتها من ناحية أخرى أى معنى واضح. وقد تكون بالدرجة الأولى نتيجة أحداث تاريخية فى الماضى البعيد. وبالطبع لم يكن شيئا من ذلك معروفا فى ١٩٥٣ فى بداية اكتشاف اللولب المزدوج.

وناقشت مع جيم مشكلة تركيب البروتين بشكل متقطع ذلك الصيف، لكن الدنا نفسه كان يشغلنا كثيرا ، هل كانت البنية صحيحة حقا؟ كيف تتناسخ بالضبط؟ وهذا ما لم نحسمه جيدا.

وفى يوم وصل خطاب من أمريكا مكتوب بخط كبير، رشيق، ومجهول. وتوصلنا إلى أننا كنا قد سمعنا عن الكاتب، عالم الفيزياء والفضاء جورج جاموو، لكن محتويات الخطاب كانت جديدة تماما. كانت ورقتينا فى "نيتشر" قد أثارت اهتمام جاموو. (وفى الواقع كنا نعتقد أحيانا أن علماء الفيزياء اهتموا بهما أكثر من علماء البيولوجيا). لقد استبق النتائج إلى أن بنية الدنا نفسها قالب لتركيب البروتين. ولاحظ أن البنية،بالنظر إليها بطريقة ما، يكون فيها عشرون نوعا مختلفا من الفجوات، تبعا للتتابع المحلى للقواعد، وحيث إنه يوجد نحو عشرين نوعا مختلفا من الأحماض الأمينية تستخدم فى تشكيل سلاسل البروتينات، افترض جاموو بجرأة أنه يوجد نوع واحد فقط من الفجوات لكل حامض أمينى واحد.

وعندما جلسنا لدراسة خطاب جاموو فى أيجل، أدركت أنا وجيم أننا لم نحسب فعلا أبدا العدد المضبوط لأنوا ع الأحماض الأمينية الموجودة فى البروتينات. ولم يكن ذلك واضح بشكل كامل؛ حيث توجد أحماض أمينية كثيرة محتملة، وقليل منها موجود فى الكائنات الحية، ولا توجد جميع هذه الأحماض فى البروتينات. وكان علماء كيمياء البروتين قد اكتشفوا فعلا عشرين حامضا أمينيا فى بروتين أو آخر، لكن بعضها، مثل الهيدروكسيبرولين، وجد فقط فى بروتين واحد أو اثنين وليس فى عموم البروتينات.

قدم جاموو قائمته عن العشرين الساحرة، لكننا لاحظنا فورا أن بعضها كان بعيد الاحتمال مما كان وراء إغفال أحماض أمينية مرشحة لتلك المواقع بوضوح، مثل الهليونين والجلوتامين. وفى الحال كتبنا قائمتنا الخاصة. ولا أتذكر أن جيم كان يعرف الكثير عن الجوانب الأكثر دقة فى الموضوع، لكننى لحسن الحظ كنت فى ذلك الوقت قد حصلت على معلومات تفصيلية عن جوانب مختلفة فى بنية البروتين. وكانت الفكرة الرئيسية التى استخدمناها أن الأحماض الأمينية التى يدعى بأنها موجودة فى البروتينات يجب تصنيفها إما أعضاء فى مجموعة "معيارية" أو "استثناءات". وتم اعتبار أى حامض أمينى كان معروفا عنه أنه موجود فى أى من البروتينات المختلفة، حامضا

من المجموعة المعيارية. والحامض الأميني الموجود فى بضع بروتينات استثنائية، مثل البروموتايروسين، صنفناه "استثناء". واستبعدنا أيضا أى حامض أمينى، رغم وجوده فى بوليمر فى الخلية، لم يظهر وجوده قط فى بروتين حقيقى. واستبعد فى هذا الصنف أيضا حامض دايمينوبيميليك، الموجود فى جدران الخلية لدى بعض أنواع البكتيريا.

ولم نصر على أن "كل" بروتين عليه أن يحتوى على كل أعضاء المجموعة المعيارية؛ حيث إن البروتين الصغير يكون ناقصا بالصدفة بعض الأحماض الأقل شيوعا؛ لأن سلسلة عديد الببتيد تحتوى بالأحرى على قليل من الأحماض الأمينية (ويمكن لنقص التريتوفان والميثيونين فى الإنسولين أن يكون مثالا لذلك). ولدهشتنا، توصلنا إلى عشرين بالضبط. والجدير بالملاحظة، أنه اتضح أن قائمتنا صحيحة جوهريا. وكان ديك سينج، غير المعروف لدينا، وهو أحد مبكترى الفصل اللونى (كروماتوجرافى) الحديث، قد صف قائمة مماثلة، لكن قائمته كان بها مرشح زائد _ السيستين مثله مثل السستيين _ الذى كان واضحا أنه بعيد الاحتمال تماما.

ولا يغير من ذلك الأمر أن كل مؤلفى الكتب المدرسية فى الكيمياء الحيوية يقدمون قائمة أطول بكثير. وفى الأوائل المبكرة للقرن الحالى، كان اكتشاف أن حامضا أمينيا جديدا يوجد فى البروتينات حادثا مهما. وبعد أن أصبحت تلك الأيام ماضيا، مازالت زهوة تحقيق ذلك قابلة للحدوث فى أى وقت. وكان اكتشاف حامض أمينى جديد، بمجرد التأكد التام من وجوده فى بروتين ما تجريبيا، مازال يعتبر اكتشافا مهما، ومن ثم يدخل فى الكتب المدرسية. ولم تنفذ فكرة ضرورة وجود مجموعة معيارية من الأحماض الأمينية، وأن البقية، بشكل أو آخر، تعتبر استثنائية، إلى إدراك أغلب علماء البيولوجيا، رغم أنه كان واضحا أن بعض علماء كيمياء البروتين كانوا يفكرون بتلك الطريقة حتى لو لم يصيغوا أفكارهم بطريقة واضحة. ونعرف الآن أن البروتينات تتركب بآلية خاصة جدا يمكنها التعامل مع عدد محدود فقط من الأحماض الأمينية. وتكون الأحماض الأخرى "الاستثنائية" فى المقام الأول أحماضا أمينية معيارية تم تعديلها بمزيد من العمليات بعد تركيب سلسلة عديد الببتيد.

وهذا مثال دقيق لتعقد الطبيعة الناجم عن الانتخاب الطبيعى. يوضح كيف يمكن للمرء أن يضل إذا تبنى بدقة شديدة وجهة نظر فى مشكلة بيولوجية. وبالطبع، كنا

محظوظين بالتوصل إلى المجموعة المعيارية السليمة فى محاولتنا الأولى. وكان تخمينا محظوظا احتاج لتأكيده إلى كثير من التجارب الإضافية. وبينما احتاج الأمر إلى بضع سنوات لإنجاز ذلك، لم يكن هناك شك جاد أبدا فى صحة قائمتنا. ورغم وجود أدلة متناقضة أحيانا، صمدت قائمتنا لاختبار الزمن. وكان الشىء الوحيد الذى تم إغفاله استخدام الفورميلميثيونين فى بدء عمل السلسلة فى البروكاريتيس، وكان من المستحيل أن نتنبأ بذلك.

ولا يمكننى تذكر ما إذا كان خطاب جاموو الأول احتوى على مخطوطة (وأظن أن هذا حدث بعد ذلك بوقت قصير)، لكننا عندما حصلنا على نسخة _مازالت لدى فى مكان ما _دهشنا لإدراج جاموو لتومكينس كمؤلف مشارك. كان جاموو معروفا بشكل جيد كشارح علم مبسط، بأسلوب غريب الأطوار إلى حد ما. وكان مستر تومكينس، إفريمان (كل رجل) الخاص بجاموو، شخصية فى العديد من كتبه، وتظهر عادة فى العنوان (مستر تومكينس يستكشف الذرة، مثلا). واحسرتاه، قبل الانتهاء من نشر الورقة تم استبعاد مستر تومكينس الملفق عن طريق محرر صارم.

كانت "شفرة" جاموو فريدة من عدة نواحٍ؛ حيث يتم تشفير كل حامض أمينى بثلاثية قواعد (عدة ثلاثيات فى الواقع، مرتبطة بالتماثل)، لكن الثلاثيات التى تمثل الأحماض الأمينية المتعاقبة تداخلت. مثال لذلك، إذا كان الجزء الصغير من التتالى ... ج ج أ س ....، يمثل ج ج أ حامضا أمينيا واحدا، و ج أ س الحامض التالى. ويضع ذلك عادة قيودا على تتالى الحامض الأمينى. وبعض التتاليات لا يمكن التشفير لها بشفرة جاموو. ولم يكن الأمر واضح المعالم تماما؛ حيث إن جاموو لم يكن يعرف أيّ من ثلاثياته هى التى تمثل حامضا أمينيا محددا. وظل ذلك مجهولا، وكان فى انتظار اكتشافه بالتجربة.

وفى ذلك الوقت، رغم تحدد الكثير من تركيبات الأحماض الأمينية للبروتينات، تقريبا على الأقل، لم يكن معروفا سوى شظايا من التتابع (كان العمل ما يزال جاريا فى التتالى التام لسلسلتى الإنسولين بواسطة فريد سانجير) لذلك لم يكن هناك كثير من البيانات التى يمكن من خلالها اختبار نظرية جاموو.

وكان لدينا أنا وجيم عدة اعتراضات على أفكار جاموو. وبالأحرى كنا نشك فى ما إذا كانت الفجوات فى الدنا قادرة على أداء المهمة. وكنا منزعجين من افتراضاته عن التماثل، ولم نوافق على أن الدنا يشفر مباشرة للبروتينات. ويبدو الرنا مرشحا أكثر احتمالا، لكن الرنا قد يمكنه الالتفاف لتكوين بنية يمكنها تشكيل الفجوات المطلوبة. وكان جامو قد وضع، ضمنيا، قيدا واحدا يبدو طبيعيا بما يكفى. عندما ترتبط الأحماض الأمينية معا على هيئة سلاسل، يكون أى حامض أمينى قريب جدا من التالى له _ نحو ٣,٧ أنجستروم فقط بينهما (المسافة بين الذرات قوية الارتباط يكون نموذجيا بين ١ و ١,٥ أنجستروم). وفى المقابل، تمتد مجموعة من ثلاث قواعد عبر مسافة أطول بكثير. ولهذا السبب تبدو شفرة التشابك، التى تقلل هذه المسافة، أكثر ترجيحا، رغم القيود التى تضعها على تتاليات الحامض الأمينى المحتملة.

وأنجز جاموو إسهاما آخر. أدركنا أخيرا أن حل مشكلة الشفرة يمكن النظر إليها كمشكلة تجريدية، بمعزل عن تفاصيل الكيمياء الحيوية الفعلية. ربما بدراسة القيود على تتابعات الحمض الأمينى، بعد أن أصبحت متاحة، وبملاحظة كيف تؤثر الطافرات على تتال محدد، يمكن دراسة الشفرة بدون التوصل إلى معرفة كل خطوات الكيمياء الحيوية التى تدخلت فى حدوثها. وتبدو هذه الطريقة مألوفة لعالم الفيزياء، الذى تواجهه تعقيدات الكيمياء والكيمياء الحيوية، ومع ذلك إنصافا لجاموو يجب التسليم بأن أفكاره كانت قائمة أصلا على نموذجنا للولب المزدوج، وليس مباشرة على الأفكار التجريدية.

وفى ذلك الشتاء (١٩٥٣ - ١٩٥٤)، خلال عملى فى بوليتيكنيك بروكلين - وكانت زيارتى الأولى للولايات المتحدة - تمكنت من دحض كل الأنواع المحتملة لشفرة جاموو، باستخدام كمية صغيرة من بيانات التتالى التى كانت متاحة عندئذ وبافتراض (وهو فرض لم يكن هناك ما يدعمه تماما) أن الشفرة "عامة" - أى هى نفسها لدى كل الكائنات الحية.

وخلال الصيف التالى قضيت أنا وجيم ثلاثة أسابيع معا فى وودز هول. وكان جاموو وزوجته هناك، مقيمين فى كوخ زينت - جيورجى على الماء. (حصل زينت - جورجى، المجرى، على جائزة نوبل فى ١٩٣٧ لسبب رئيسى هو اكتشاف فيتامين سى). وفى ذلك الوقت كان جاموو قد تعرّف إلى عدد من الأشخاص المهتمين بمشكلة

التشفير، وبشكل خاص مارتيناس يكاس وأليكس ريتش. وفى أغلب الأمسيات كنت أذهب أنا وجيم إلى الكوخ، ونجلس على الشاطئ مع جاموو، نتناقش فى كل النواحى المختلفة لمشكلة التشفير، وفى أحاديث غير ذات قيمة أو فى مراقبة جاموو فقط، وهو يعرض بعض خدعه فى ألعاب الورق على أية فتاة جميلة يتصادف وجودها فى المكان. وكان إيقاع الحياة العلمية فى ذلك الحين أقل استعجالا واضطرابا مما هى عليه الآن.

وخلال ذلك الوقت تعودنا على جاموو بما يكفى أن نناديه جو. كان اسمه الأول جورج، لكنه يوقع خطاباته ب "جو" Geo. وكان يحسب أنها تنطق Joe ، وهذا ما كان يناديه به أصدقاؤه. وكنا قد ألفنا كتابته اليدوية الصبيانية، لا مبالاته الروسية بأداتى التعريف والتنكير (a and the) وتهجئته الشاذة. واعتبرنا الأخيرة عائدة إلى كتابته بلغة أجنبية، لكننا عرفنا لاحقا أنه فى موطنه روسيا كانت تهجئته بنفس السوء. وكنا معجبين بسيارته البيضاء الضخمة ذات الغطاء القابل للطى بمقاعدها الحمراء. وقال لى إن ثلث دخله يأتيه من أجره الأكاديمى، ثلث من الكتابة، وثلث من الاستشارات، مما يفسر جزئيا اقتناءه سيارة غالية إلى حد ما. وكانت رفقته مرحة، وبودة، رغم كبره عنا فى العمر وتجاوزه لنا فى السلك الوظيفى. وكان بطل نظرية الانفجار العظيم فى تفسير أصل الكون – وضمن ما تنبأ به وجود الخلفية الإشعاعية، التى لم يكن قد تم اكتشافها وفضلت الكنيسة الكاثوليكية نظريته عن نظرية الخلق الدائم، التى اقترحها جولد، وبوندى، وهويل. ورغم ذلك، اندهشت إلى حد ما عندما قال لى إنه تبادل طبعات معادة مع البابا، عن طريق مكتب القداسة.

وكان جاموو يتمتع بتناول الوسكى. ورغم عدم إدراكى فى ذلك الوقت، من المحتمل أنه كان فعلا على منزلق إدمان الكحول. ولم أندهش بتاتا من تلقى دعوة بريدية، بخطه المميز، إلى "حفلة ويسكى، دنا لولبى"(*) تقام فى الكوخ بعد أيام قليلة. وفى المرة التالية التى ذهبت فيها هناك شكرت جو لدعوته إياى، لكنه لم يتذكر شيئا عن ذلك. ولحيرته ظلت خطابات قبول الدعوت تتدفق؛ حيث يتم إحضارها من البيت الرئيسى بواسطة ألبرت زينت – جيورجى. وبالطبع شك جو فى أن زينت جيورجى كان المتهم، لكنه أنكر ذلك. وقال "بكل إخلاص، لست أنا". وكان جو مرتبكا حتى إننى أدركت أنه يجب عمل

(*) تعبر كلمة twisty عن لولبية الشكل ورقصة التويست فى نفس الوقت.

شيء ما، ولم أكن فى حاجة إلى وقت طويل لأكتشف أن جيم كان أحد مرتكبى الخدعة. لم يكن يمزح عادة بالدعابات السمجة، لكن ناصحه المخلص، ماكس ديلبروك، كان مشهورا بها. واتضح أن مرتكب الخدعة الآخر هو ابن أخو زينت - جيورجى، أندرو زينت - جيورجى. وتفاوضت من أجل اتفاقية. على جيم وسزولى، وهو الاسم الذى كان معروفا به، أن يزودا الحفل بالبيرة ويجهز جو الويسكى. وكانت الحفلة عظيمة، بعد أن حضرها أغلب من تمت دعوتهم.

فى غضون ذلك، أسس جو، بطريقته الخاصة، تلك المنظمة الفريدة، نادى ربطة عنق الرنا. وكان ذلك النادى مقصور تماما على فئة مختارة _كان جاموو الذى يقرر من يكون عضوا. كان يجب أن يكون هناك عشرون عضوا فقط، واحد لكل حامض أمينى، ولا يقتصر الأمر على تلقى كل عضو رباط عنق فقط، مصنوع تبعا لتصميم لجاموو نفذه بائع خردوات فى لوس أنجلوس (رتب ذلك جيم واطسون وليزلى أورجيل)، ولكنه يتلقى أيضا دبوسا للرباط مع الصياغة المختزلة لحامضه الأمينى الخاص مسجل على الدبوس.

وأظن أننى كنت تى.واى. آر، لكننى غير متأكد مما إذا كان لدى دبوس فى أى وقت.

ولم يلتقِ أعضاء النادى أبدا، لكن كان للنادى ورق للمكاتبات مسجل عليه من يديرونه. جو جاموو كان موصوفا بأنه إخصائى تركيب اصطناعى، وجيم واطسون متفائل، وأنا متشائم.وأطلق على مارتيناس يكاس أمين الأرشيف وأليكس ريتش لورد بريفى سيل، وكما اتضح كان النادى يقوم بدور آلية لتداول مخطوطات تأملية بين قلة من المهتمين.

وبعد عودتى إلى إنجلترا فى خريف ١٩٥٦ كتبت ورقة للنادى محللا أفكار جاموو، معمما إياها، ومقدما ما اتضح بعد ذلك أنه فكرة مهمة، ألا وهو فرضية المعدل.

وأطلق على الورقة "حول قوالب فاسدة وفرضية المعدل". وكانت الفكرة الرئيسية أنه كان من الصعب أن نأخذ بعين الاعتبار كيف يمكن للدنا أو الرنا، بأية صورة يمكن تخيلها، تجهيز قالب مباشر للسلاسل الجانبية للأحماض الأمينية المعيارية العشرين، والذى كان مرجحا أكثر من غيره بالنسبة لأية بنية هو نمط خاص من المجموعات

الذرية يمكنها تشكيل روابط هيدروجينية، ولذلك اقترحت نظرية تتضمن وجود عشرين معدلا (واحد لكل حامض أميني)، مع عشرين إنزيما خاصا. ويربط كل إنزيم حامضا أمينيا محددا بمعدله الخاص، وينتشر هذا التركيب إلى قالب الرنا. وجزيء المعدل يمكنه التلاؤم فقط مع تلك الأماكن على قالب الحامض النووى؛ حيث يمكنه تشكيل الروابط الهيدوجينية الضرورية لتثبيتها فى مكانها. وبوجود هذا الجزيء فى ذلك المكان، يمكنه حمل حامضه الأميني بالضبط عند مكانه السليم الذى كان مطلوبا.

وكانت هناك عدة تضمينات لهذه الفكرة. والتضمين الذى أرغب فى التركيز عليه هنا أنها تعنى أن الشفرة الوراثية يمكن أن يكون لها تقريبا أية بنية؛ حيث إن تفاصيلها قد تعتمد على أى من الأحماض الأمينية سيذهب مع أى معدل. ومن المحتمل أن ذلك تم إقراره فى وقت مبكر جدا خلال الارتقاء وربما بالصدفة. وبسبب هذا الاستنتاج المتشائم بدأت الورقة بمقتطف من كاتب فارسى مغمور من القرن الحادى عشر: "هل يوجد من هو خاسر تماما مثل ذلك الذى يبحث عن الطريق حيث لا طريق؟" وانتهت بتعليق: "خلال العزلة النسبية فى كمبريدج، يجب أن أعترف أنه مر بى وقت لم يكن لدى ميل إلى مشكلة التشفير".

وتم تداول الورقة بين أعضاء نادى رباط عنق الرنا، لكنها لم تنشر أبدا فى صحيفة مناسبة، وهى الأكثر جاذبية من بين أوراقى غير المنشورة. وفى آخر الأمر نشرت ملاحظة قصيرة مختصرة تقدم الخطوط العريضة للفكرة، وتقترح بشكل غير نهائى أن المعدل قد يكون قطعة صغيرة من الحامض النووى. واتضح بعد ذلك بقليل أن عالم كيمياء حيوية فى كلية طب هارفارد، ماهلون هوجلاند، حصل بشكل مستقل تماما على بعض الأدلة التجريبية تدعم اقتراحى. وكما يعرف كل عالم بيولوجيا جزيئية حاليا، يتم أداء هذا العمل بواسطة عائلة من الجزيئيات يطلق عليها الآن الرنا الناقل. ومن عجائب التقديرات، لم أدرك مباشرة أن تلك الجزيئات ناقلة الرنا كانت المعدل الذى تنبأت به؛ لأنها كانت أكبر بكثير من تلك التى توقعتها، لكننى سريعا ما أدركت أنه لا يوجد وجه لاعتراضى. وبعد قليل فى وقت لاحق أتى ماهلون إلى كمبريدج لمدة عام، وأجرينا تجارب معا على الرنا الناقل. وعملنا فى حجرة صغيرة فى الدور العلوى فى معهد مولتينو التى سمح لنا مديره بلباقة أن نستخدمها حيث إنها كانت شاغرة مؤقتا.

تم ترجمة كثير من الجهود النظرية خلال تلك الفترة إلى محاولات لحل مشكلة التشفير خاصة بواسطة جاموو، ويكاس، وريتش.

اقترح جاموو ويكاس " شفرة مجمعة"؛ حيث لا يهم ترتيب القواعد فى ثلاثية، ولكن المهم فقط تجميع القواعد. وبينما كان ذلك غير محتمل من الناحية البنائية كان له بعض الإغراء؛ لأنه صادف وجود عشرين تجمعا فقط لأربعة أشياء مأخوذة كل ثلاثة معا. ومرة أخرى لم يكن هناك تلميح حول كيفية نسبة توزيع كل حامض أمينى على مجموعته الخاصة.

وظل الاقتناع فترة من الزمن بأن الشفرة لابد أن تكون متداخلة، ولذلك استمر البحث عن قيود على تتالى الحامض الأمينى. وبعد أن أصبحت التتاليات الجديدة متاحة تمت إضافتها إلى تلك التى كنا قد جمعناها، ولكن التلميحات كانت قليلة بشأن وجود أية تتاليات غير صالحة، رغم أن البيانات كانت من الوفرة بحيث إننا لم نكن متأكدين فى البداية أن بعض التتاليات مفقودة. وكان البحث مقتصرا على أحماض أمينية مجاورة. يوجد ٤٠٠ (٢٠× ٢٠) حامض نووى زوجى محتمل. ويمكن لأى ثلاثية متداخلة أن تشفر ل ٢٥٦ (٦٤ ثلاثية محتملة × ٤) من هذه الأحماض لذلك لابد من وجود قيود إذا كانت الشفرة من هذا النوع. ولاحظ سيدنى برينير إمكانية شحذ ذلك الجدل. يمكن لأى ثلاثية أن يكون لها أربع ثلاثيات فقط كجيران فى جانب واحد. مثال لذلك، إذا كانت الثلاثية المعنية أ أ ث، عندئذ تكون الثلاثيات الوحيدة التى يمكن أن تسبقها هى ث أ أ، وس أ أ، و أ أ أ، و ج أ أ، بينما ما يتبعها سيكون فقط أ ث ث، وأ ث س ، وأ ث أ، و أ ث ج، باعتبار أن الشفرة متداخلة دائما. وبالتالى إذا اتضح ضمن التتاليات المعروفة أن لحامض أمينى محدد تسعة جيران على الأقل يتبعونه، عندئذ سيكون له على الأقل ثلاث ثلاثيات مخصصة له؛ حيث إن ثلاثيتين يمكن أن يكون لهما ثمانية جيران فقط تتبعهما. واستطاع سيدنى أن يوضح أن عدد الثلاثيات الضرورية يتجاوز دون ريب أربع وستون ومن هنا فإن كل شفرات الثلاثيات المتداخلة مستحيلة. وافترض هذا البرهان أن الشفرة "عامة" – أى، هى نفسها لدى كل الكائنات الحية التى أتت منها البيانات التجريبية ، لكن ذلك كان مقنعا لنا بدرجة كافية من حيث شكله لأن يجعلنا متأكدين من أن فكرة الشفرة المتداخلة خطأ.

ورغم ذلك ظلت معضلة الشكل الهندسى قائمة. فى عملية تركيب البروتين، إلى أى مدى يمكن لحامض أمينى الاقتراب بدرجة كافية من التالى له حتى يمكنهما الارتباط معا؛ حيث إن ثلاثياتهما لابد لها أن تكون متباعدة بمسافة ما حيث إنها غير متداخلة؟ واقترح سيدنى أن المعدلات المفترضة يجب أن يكون لكل منها ذيل صغير مرن، فى نهاية كل ذيل يلتصق الحامض الأمينى الملائم. ولم نأخذ أنا وسيدنى فى ذلك الوقت تلك الفكرة مأخذا جادا، وكنا نشير إليها على أنها نظرية "لا تهتم"، قاصدين بذلك أنه يمكننا معرفة طريقة واحدة على الأقل تحل بها الطبيعة المشكلة؛ فما الداعى لأن نهتم فى هذه المرحلة بما تكون عليه الإجابة الصحيحة، خاصة أن لدينا مشاكل أكثر أهمية يجب أن نعالجها. وبالنسبة لذلك الموضوع اتضح أن وجهة نظر سيدنى كانت صحيحة. كل رنا ناقل له فعلا ذيل صغير مرن يتلصق به الحامض الأمينى.

ودعنى أوضح بكلمات اعتراضية أن المدرسة الإنجليزية بين علماء البيولوجيا، عندما يحتاجون إلى كلمة تعبر عن معنى جديد، يستخدمون عادة كلمة إنجليزية شائعة مثل "هراء" أو "تداخل overlapping"، فى حين تميل المدرسة الباريسية إلى سك كلمة ذات جذور كلاسيكية، مثل "كابسومير capsomere"(*) أو "ألوسترى allosterie"(*). ويهوى من ليسوا علماء فيزياء، مثل سيمور بينزير، اختراع كلمات جديدة تنتهى ب on – مثل "muton"، "reco"، و"cistron". وتحصل تلك الكلمات الجديدة فى أحوال كثيرة على رواج سريع. ذات مرة اقترح علىّ عالم البيولوجيا الجزيئية فرانسوا جاكوب أن ألقى كلمة فى نادى علم وظائف الأعضاء فى باريس. وكانت القاعدة حينئذ أن هذه المحاضرات تلقى باللغة الفرنسية، وحيث إننى كنت أتكلم الفرنسية بصعوبة لم أتحمس لاقتراحه البتة، لكن فرانسوا نبه أوديل (التى كانت تجيد الفرنسية والإنجليزية) إلى أننى لو ألقيت الكلمة يمكنها أيضا أن تقوم برحلة إلى باريس، وبذلك سريعا ما تلاشت معارضتى. قررت أن أتحدث عن مشكلة الشفرة الوراثية، معتقدا، وهو ما كان خطأ تماما، أنه يمكننى أداء أغلب المهمة بمجرد الكتابة على السبورة. وما أسرع ما تبين أن

(*) كلمة capsomere تتكون من الجذر caps ويعنى فلفل، والجذر mere ويعنى قسم. وكلمة allos-terie فرنسية من الجذر allos أى غير، والجذر stereom أى بروز، وهى تشير إلى كبح إنزيم هيوليناتى (له علاقة بأجسام هيولية تدخل فى تكوين الأنسجة) بواسطة جزىء بالغ الصغر؛ بحيث يستقر داخل الإنزيم ويبدل حالته.

علىّ أن أتكلم ببعض الفرنسية لتوصيل الأفكار، لذلك بدأت أملى كل كلمتى على سكرتير (وأنا أتكلم عادة مستخدما مذكرات). عندئذ شطبت كل النكات؛ لأنه حتى وأنا ألقى الكلمة على السكرتير وجدت أن نكاتى المرتجلة تأتى مقحمة، وشعرت بأنه من الصعب أن أقرأها بصوت مسموع عمدا. وترجمت أوديل الكلمة، وتم عمل نسخة على الآلة الكاتبة من مخطوطة أوديل، مع علامات التشديد فى التلفظ تمت إضافتها لكى أقرأها بسهولة أكثر.

ومع ذلك، كانت هناك مشكلة حول ترجمة "التداخل". ما الكلمة الفرنسية المناظرة؟

وتذكرت أوديل أخيرا كلمة مناسبة، وسافرنا إلى باريس. كنت مرتابا كثيرا فى هذه الكلمة الغريبة حتى إننى سألت فرنسوا لدى وصولى عن الكلمة التى يستخدمونها للتعبير عن " التداخل overlapping " فقال "أوه، نقول ببساطة أو _فير _لاب _بنج".

وأرى أن الكلمة كانت ناجحة. بدأتُ بشكل جيد إلى حد ما، أقرأ بعناية، ولكن مع تحمسى أصبح نطقى شاذا فشاذا بالتدريج. وأرهقتنى المناقشة، التى كانت بالفرنسية بشكل رئيسى، كثيرا. وبعد الكلمة سألت فرانسوا كيف كان الأمر. قال بلباقة "لم تكن سيئة تماما"، "لكنك لم تكن أنت". ومع الافتقاد إلى العفوية والنكات عرفت ماذا كان يعنى بالضبط. ومنذ ذلك الحين لم أحاول أبدا إلقاء كلمة بلغة أجنبية، حتى رغم تحسن لهجتى الفرنسية قليلا بمرور السنوات.

أصبح واضحا الآن أن الشفرة لم تكن متداخلة، لكن ذلك أوجد فورا مشكلة جديدة. إذا تمت قراءة الشفرة كتتابع ثلاثيات غير متداخلة، كيف نعرف أين تبدأ الثلاثيات؟ ولنعرض الأمر بطريقة أخرى، إذا كان علينا أن نتخيل أن الثلاثيات الصحيحة كانت عليها علامات فواصل (مثلا، أ ث س،س ج أ، ث ث س، .....)، كيف تعرف الخلية بالضبط أين تضع الفواصل؟ وتبدو الفكرة الواضحة، بأن المرء يبدأ حيث تكون البداية (أيا كانت) ، ويستمر على هذا المنوال ثلاثة كل مرة، بالغة البساطة، وظننت (وكنت مخطئا تماما) أنه لابد من وجود حل آخر. وتراءى لى أن أحاول بناء شفرة بالمواصفات التالية. إذا تمت قراءتها بالطريقة الصحيحة، يمكن أن تكون الثلاثيات "ذات معنى" (أى، ترمز إلى حامض أمينى ما أو غيره)، فى حين أن كل ثلاثية

خارجة عن المسار الصحيح (تلك التى تتخطى الفواصل)، ستكون "هراء" _أى، لن يكون لها معدل وبذلك لن تكون مخصصة لأى حامض أمينى. وشرحت تلك الفكرة لليزلى أورجيل، التى بينت مباشرة أنه بالنسبة لتلك الشفرة يكون أقصى عدد للثلاثيات ذات المعنى عشرين. وتكون ثلاثية مثل أ أ أ هراء، وإلا فإنه يمكن قراءة التتالى أ أ أ، أ أ أ خارجا عن المسار الصحيح. (افترضنا ضمنيا منذ ذلك الحين أن أى حامض أمينى يمكنه أن يتبع أى حامض أمينى آخر). ويحذف ذلك أربعة من الأربع وستين ثلاثية. وإذا كان للثلاثية س ص ع معنى، فإن التبديل الدائرى ص ع س و ع س ص ستكون بلا معنى؛ لذلك فإن أقصى عدد للثلاثيات ذات المعنى ستكون ٦٠ /٣ = ٢٠ . وتمثلت المشكلة فى: هل توجد مجموعة من عشرين ثلاثية لها تلك الخاصية؟ كنت عاكفا فى الفراش بسبب نوبة برد شديدة، لكننى اكتشفت أنه يمكننى بسهولة أن أحصى سبعة عشر. وذكرت ليزلى المشكلة لجون جريفيث، الذى توصل إلى مجموعة من عشرين لها الصفات المطلوبة. وحصلنا سريعا على عدة حلول أخرى (إضافة إلى العديد من التباديل) بحيث لم يعد هناك شك فى أن مثل هذه الشفرة موجودة، حتى إننا اخترعنا مناظرة معقولة ظاهريا حول سبب إمكانية أن تكون تلك الشفرة مفيدة.

ولا تعتبر مشكلة التوصل إلى حل يتيح عشرين ثلاثية ذات معنى، مشكلة ذات صعوبة خاصة. كنت قد حجزت بعد ذلك بقليل فى رحلة طيران ليلية من الولايات المتحدة إلى إنجلترا. وقبل الصعود إلى الطائرة تحادثت صدفة مع فريد هويل، عالم الفلك. سألنى عن ما كنت أفعله، وشرحت له فكرة الشفرة الخالية من الفاصلة. فى الصباح التالى، عندما كانت الطائرة تقترب من شاطئ إنجلترا، عاد إلى حيث كنت جالسا مع حل ظل يستنبطه طوال الليل.

بالطبع كانت فكرة الشفرة بدون فاصلة مثيرة لى ولأورجيل وجريفيث. كانت تبدو مناسبة تماما، كانت ممتازة تقريبا. يكفى أن يكون لديك الأعداد السحرية ٤ (٤ قواعد) و٣ (الثلاثيات) لتحصل على العدد السحرى ٢٠، عدد الأحماض الأمينية. وبلا مزيد من الضجة كتبنا عن ذلك بالتفصيل لنادى رباط عنق الرنا. ورغم ذلك كنت مترددا. أدركت أنه ليس لدينا دليل "آخر" عن تلك الشفرة، أكثر من البزوغ المدهش للعدد عشرين. ولو كان قد ظهر حينئذ عدد آخر لطرحنا الفكرة جانبا، وبحثنا عن بعض الشفرات الأخرى

التى تؤدى إلى عشرين حامضا أمينيا، لذلك لم يكن العدد عشرون فى حد ذاته دليلا توكيديا.

ورغم همومى، جذبت الشفرة الجديدة بعض الاهتمام. بعد أن سأل أربعة أشخاص إذا كانوا يستطيعون أن يستشهدوا بورقتنا (لم تكن مذكرة نادى رباط عنق الرنا مثل النشرة)، وقررنا أن نكتب بالتفصيل عن الموضوع لمحضر جلسات الأكاديمية القومية الأمريكية للعلم؛ حيث تم نشر ورقتنا على نحو واف فى ١٩٥٧ ، وتم عرضها فى كتاب للقارئ العادى تحت اسم "ملف الحياة" كتبته روث مور، رغم أنه لم ينشر إلا فى ١٩٦١ ، وكنا قد كففنا عن تصديق تلك الفكرة.

ولأن فى الشفرة بدون فاصلة لكل حامض أمينى ثلاثية واحدة فقط ، فإنه من المحتمل، إذا عرفنا أى حامض أمينى يناسب أى ثلاثية، أن نستنبط تركيب القاعدة فى الدنا، مفترضين أنه كله يشفر للبروتين، منطلقين من التركيب المتوسط للحامض الأمينى فى كل بروتيناته، ولأن الأخيرة متشابهة إلى حد كبير لدى كل الكائنات الحية (رغم معرفتنا حاليا بوجود اختلافات بسيطة)، يتضمن ذلك أن جزيئات الدنا لدى كل الأنواع لديها تقريبا نفس التركيب. وبعد إجراء مزيد من القياسات، خاصة على أنواع مختلفة من البكتيريا، أصبح واضحا أن ذلك مستبعد. وبالطبع فى كل الحالات يكون مقدار أ مساويا لمقدار ث (أ = ث) ؛ حيث إن ازدواج القاعدة يتطلب ذلك، ولنفس السبب ج ≡ س، لكن بنية الدنا نفسها لا تضع قيودا على النسبة بين أ + ث و ج + س، واتضح أن هذه النسبة تختلف كثيرا من كائن حى إلى آخر، ويؤدى ذلك إلى ترجيح أن تكون الشفرة بدون فاصلة خاطئة.

وجاء سقوطها المفاجئ من اتجاهين. يؤدى عملنا على طفرات إزاحة _الحالة، الذى يتم شرحه فى الفصل ١٢ ، إلى جعل تلك الشفرة بعيدة الاحتمال، لكن تمت معالجة الأمر بمزيد من الضربات الحاسمة بواسطة مارشال نيرينبيرج عندما أوضح أن متعددى (شكل بسيط للدنا) يشفر لبوليفينيلالانين ١٦٩ ، فى حين أنه فى شفرة بدون فاصلة لا بد أن يكون ى ى ى ثلاثية بدون معنى. وفى النهاية أثبتت الشفرة الوراثية الصحيحة، التى تم تأكيدها بعدة طرق، بشكل حاسم، أن الفكرة برمتها كانت خاطئة

تماما. ومع ذلك، يمكن تصور أنه كان لها دور بالقرب من أصل الحياة، عندما كانت الشفرة قد بدأت فى التطور، لكن ذلك مجرد تخمين.

وجذبت فكرة الشفرات بدون فاصلة انتباه الأخصائيين فى مجال التوافيق، خاصة سول جولومب. وكنا قد فشلنا فى حل مشكلة عد كل شفرات الثلاثيات المتداخلة الممكنة (بأربعة أحرف) رغم أننا توصلنا إلى أكثر من حل واحد. وتوصل جولومب وويلش إلى العد باستخدام حجة محكمة جدا (كان يجب علينا أن نعرفها بأنفسنا) كجزء مهم فى البرهان. وتم حل المشكلة أيضا بواسطة عالم الرياضيات الهولندى إتش. فرويدينتال فى نفس الوقت تقريبا.

وأخيرا تم حل مشكلة الشفرة (انظر ملحق ب) بطرق تجريبية، وليس بالنظرية. وكان أهم المساهمين مجموعتا مارشال نيرينبيرج وجوبيند كورانا. وقدمت مجموعة أحد الحائزين على جائزة نوبل مبكرا، سيفيرو أوشوا، مساهمة مهمة أيضا. وحتى مع ظهور الشفرة، تم إجراء محاولات لتخمين الكل من الجزء، لكن ذلك شهد أيضا فشلا كبيرا. ويطرق ما تجسد الشفرة قلب البيولوجيا الجزيئية، كما يجسد الجدول الدورى للعناصر قلب الكيمياء، لكن يوجد هناك اختلاف عميق. قد يكون الجدول الدورى صحيحا فى أى مكان فى الكون، ويناسب بشكل خاص الأماكن التى تتصف بنفس الحرارة والضغط على الأرض. وإذا كانت هناك حياة فى عوالم أخرى ، وحتى لو كانت تلك الحياة تستخدم أيضا الأحماض النووية والبروتينات، وهو أمر بعيد الاحتمال، يبدو من المحتمل تماما أن الشفرة هناك ستكون مختلفة جوهريا، بل يوجد تنوع غير مهم فى الشفرة لدى بعض الكائنات الحية هنا على الأرض. والشفرة الوراثية، مثل الحياة نفسها، ليست جانبا واحدا من الطبيعة الظاهرة للكائنات لكنها، على الأقل جزئيا، نتيجة الصدفة.

الفصل التاسع

بصمة البروتينات

فى الفصل السابق ناقشت المحاولات النظرية المختلفة لحل مشكلة التشفير. وفى هذا الفصل أستعرض بعض المداخل التجريبية. كانت المشكلة هى نفس المشكلة السابقة إلى حد بعيد: هل تتحكم الجينات (الدنا) فى تركيب البروتين؟ وإذا كان الأمر كذلك، فكيف يتم الأمر؟

يبدو واضحا بدرجة كافية حاليا أن تتالى الحامض الأمينى لبروتين ما يمكن تحديده وراثيا، وخاصة بالتتالى القاعدى فى مقطع من الدنا (أو الرنا)، لكن ذلك لم يكن واضحا دائما. بعد اكتشاف اللولب المزدوج بدت الفكرة أكثر جاذبية، بدرجة كبيرة حتى إننى أنا وجيم بدأنا التسليم بها. كانت الخطوة التالية توضيح أن الجين والبروتين الذى يشفر له على استقامة واحدة. وأعنى بذلك أن تتالى القواعد على ذلك المقطع من الحامض النووى متسق مع التتاليات المناظرة للحامض الأمينى فى البروتين الخاص الذى يشفر له، تماما كما يكون مقطع من شفرة مورس متسق مع الرسالة الإنجليزية.

وفى تلك الأيام لم يكن هناك أمل على ما يبدو فى عمل تتاليات، سيان للدنا أو الرنا مباشرة، لكننا اعتقدنا أنه فى ظروف مناسبة قد يمكن إحداث مجموعة من الطفرات داخل جين واحد، باستخدام طرق جينية نموذجية. وحيث إن المسافات الجينية يرجح أنها قصيرة إلى حد ما، كان متوقعا أن تكون معدلات إعادة التوحيد اللازمة أقل بكثير من تلك التى يقيسها علماء الوراثة عادة. وهذا يتضمن أنه يجب فحص كثير من الذرية، مع افتراض أنه سيكون ضروريا استخدام بعض أنواع الكائنات الدقيقة، مثل البكتيريا أو الفيروس.

ويمجرد إحداث الطفرة، تكون الخطوة التالية الإمساك بتغير الحامض الأمينى بسبب كل طفرة. ورغم أن عمل تتالى سلسلة بروتين كان لا يزال يحتاج جهدا، أشار فريد سانجير أن ذلك عمل يمكن إنجازه، وتوقعنا أنه بالنسبة لبروتين صغير لن يكون الأمر بالغ الصعوبة.

كنت جالسا بعض الوقت فى صيف ١٩٥٤ على حشائش فى وودز هول، أشرح تلك الأفكار لعالم الوراثة البولندى بوريس إفروسى. وكان بوريس يعمل حينئذ فى باريس، وكان مهتما بشكل خاص بالجينات فى الخميرة التى بدت موجودة خارج نواة الخلية. ونعرف حاليا أن تلك الجينات السيتوبلازمية يتم تشفيرها فى دنا الحبيبات الخيطية فى الخلية، لكن فى ذلك الوقت كان كل المعروف أنها لا تسلك مثل الجينات النووية. كان بوريس ساخطا. سأل "كيف تعرف أن تتالى الحامض الأمينى لا يتحدد بالجين السيتوبلازمى، وأن كل ما تفعله الجينات النووية أن تطوى البروتين بشكل سليم؟".

ولا أظن أن بوريس كان يصدق ذلك (وأنا أيضا بالتأكيد)، لكن ذلك السؤال جعلنى أدرك أننا نحتاج أولا إلى توضيح أن فطرة "منفردة" فى جين نووى تغير تتالى الحامض الأمينى فى البروتين الذى يشفر له الجين، وربما تغير حامض أمينى واحد فقط. وعند العودة إلى كمبريدج قررت أن تلك كانت أهم خطوة تالية يجب تنفيذها.

ولم نكن نعرف بجلاء الكائن الحى الذى علينا أن نستخدمه ولا البروتين الذى سندرسه. وبعد ذلك بقليل التحق بنا فيرنون إنجرام فى كافندش. كانت مهمته الرئيسية أن يضيف ذرات ثقيلة إلى هيموجلوبين أو ميوجلوبين، لتحسين عمل الأشعة السينية، لكننا قررنا أنا وهو أن نحاول مرة معالجة المشكلة الجينية. وأدركنا أن الخطوة الأولى التى نحتاجها ليست رسم خريطة الجين بالتفصيل. وكل ما نحتاجه ما يكفى من المعلومات الجينية لتوضيح أن الطفرة تم توارثها تبعا لطريقة مندل، وأنه بالتالى من المحتمل انتمائها إلى جين نووى. ولسنا أيضا فى حاجة إلى تثبيت الحامض الأمينى فى التتالى. كان ضرورى فقط التوصل إلى حدوث تغيير فى التتالى بسبب الطفرة. ورأينا أن ذلك سيجعل الأمر أكثر سهولة؛ حيث إننا كنا فى حاجة فقط عندئذ لدراسة

"تركيب" الحامض الأمينى فى البروتينات؛ فإذا كان البروتين بالصفر الكافى يمكننا، مع توافر الحظ، التعرف على تغير يماثل صفره صفر تغيير فى حامض أمينى واحد فقط.

وبغرض العمل فى بروتين يمكن الحصول عليه بسهولة، اخترنا بروتين الخميرة الاستذابية (ليسوزيم)، وهو بروتين صغير، إنزيم قاعدى (أى ذو شحنة إيجابية) أول من وصف خصائصه ألكسندر فليمنج، مكتشف البنسلين. وكان فليمنج قد توصل إلى أن هذا البروتين يوجد فى الدموع وإلى أن بياض البيضة مصدر غنى به أيضا. ويحل "يفك" الإنزيم نوعا معينا من البكتيريا، وفى كلا الحالتين يكون له مفعول إبطال العدوى البكتيرية. وتوجد جرثومة محددة لها حساسية خاصة تجاهه، ويمكن استخدام ذلك كاختبار للإنزيم.

كان هدفنا الرئيسى بياض البيضة، لكننا جربنا أيضا الدموع البشرية. وفى كل صباح عندما كنت أدخل إلى المختبر كانت مساعدتى تأخذ عينة صغيرة من دموعى. ولأننى لست ممثلا، لم يكن سهلا بالنسبة لى أن أبكى كلما أردت؛ لذلك كانت مساعدتى تمسك بشريحة من البصل الطازج تحت عينى. وكنت أحتفظ برأسى فى جانب واحد، لأجعل الأمر أكثر سهولة بالنسبة للدموع حتى تنساب إلى مجرى الدموع، ويمكن لمساعدتى تلقى الدموع بماصة باستير صغيرة عندما تتساقط من الجانب الآخر من عينى. ومع ذلك، كان من الصعب الحصول على أكثر من دمعة أو دمعتين، رغم أننى توصلت لنتيجة أفضل باستدعاء الأفكار الحزينة، ولأننى أتمتع بقدر كاف من الفضول، لم يحدث أبدا أن بكيت تلقائيا فى مواجهة الأحداث المحزنة أو المأساوية، لكن نهاية سعيدة تجعلنى لا أستطيع التحكم فى بكائى. دع العروس تسير فى النهاية منتصرة عبر الجناح الكنائسى، وموسيقى الأرغن تصدح مهللة. ستنهمر الدموع على وجهى، رغم انزعاجى وارتباكى الشديدين.

يمكن لتأثير دمعة واحدة أن يكون مثيرا. بدا التعلق الضعيف للبكتيريا التى استخدمناها غائمًا بشكل واضح، رغم أنه لم يكن بكثافة اللبن. ضع دمعة واحدة، اجعل السائل يدور كالدوامة فى أنبوب الاختبار، يصبح التعلق فى دقيقة صاف تماما. تحللت كل البكتيريا، وبذلك قلت فورا تبعثر الضوء الذى يسبب التغييم. واستخدمنا طبعا مزيدا من الاختبارات الكمية، لكن الظاهرة كانت بشكل أساسى هى نفسها.

ولأن ليسوزيم الكتاكيت له شحنة موجبة قوية، غير كل البروتينات الأخرى فى بياض البيض، من الممكن بلورته فى بياض البيض، بدون أى مزيد من التنقية. وإنه لمن المدهش حقا بالنسبة لعالم البيولوجيا رؤية البللورات مترسبة فى المادة اللزجة لبياض البيض المركزة إلى حد ما. ولنفس السبب كان الليسوزيم سهل نسبيا فى فصله على أعمدة تبادل الأيون البسيطة التى كان قد تم تطويرها منذ وقت قصير للتقطير التجزيئى للبروتينات.

قد يكون مبهجا الإشارة إلى أننا عثرنا على طفرة، لكننا فى الحقيقة لم نحرز أى نجاح. اختبرنا الليسوزيم البسيط إلى حد ما، بمراجعة، فى الواقع، شحنته وطريقته فى امتصاص الأشعة فوق البنفسجية، حتى أنه كان يمكننا بسهولة توضيح أن ليسوزيم الكتاكيت يختلف عن ليسوزيم الدجاج الحبشى، وأن كليهما يختلف تماما عن الليسوزيم فى دموعى. ورغم دراستنا لنحو عشر سلالات من الدجاج، التى أمدنا بها بكرم علماء وراثة الدجاج المحليين، واختبارنا لمئات البيضات كإجمالى، لم نسجل أى اختلاف. وجربنا دموع نحو خمسة أشخاص فى محيط المختبر، لكن كل ذلك بدا متماثلا فى كل الحالات. وأردت اختبار دموع ابنتى الصغيرة جاكيلين، التى كان عمرها حينئذ لا يتجاوز عامين، لكن أوديل لم تسمح بذلك. ماذا تستخدم طفلتنا الغالية فى تجربة؟! ومنعتنى بصرامة من تلك المحاولة.

توقعت أن علينا أن نواصل المسيرة، لكن كان هناك فى تلك المرحلة تطور مؤثر. كان ماكس بيروتز يعمل فى مجال الهيموجلوبينات، بما فيها هيموجلوبين الإنسان. وقبل ذلك بعدة سنوات كان هارفى إتانو ولينوس باولينج قد توصلا إلى أن الهيموجلوبين المأخوذ من شخص مصاب بأنيميا الخلية المنجلية مختلفة من حيث الترحيل الكهربائى للدقائق المعلقة عن الهيموجلوبين العادى. وصنفها باولينج، وكان ذلك صحيحا، مرضا وراثيا. وقاس زميل له فى كال تيك تركيب أحماضها الأمينية، وأوضح أنه لم يكن هناك اختلاف يعول عليه يمكنه رصده، لكن حيث إن الهيموجلوبين يعتبر بروتينا ضخما نسبيا، يمكن بسهولة أن يحدث إغفال لحامض أمينى مفرد باستخدام مثل هذا القياس الفج.

وطور سانجير طريقة أطلق عليها بصمة البروتينات. هضم سانجير البروتين بإنزيم (تربسين) الذى يقطع سلسلة عديد الببتيد فى أماكن خاصة. وتم مد العدد المحدود من شظايا الببتيد التى أنتجت بهذه الطريقة على نظام كروماتوجرافى بورقة ذات بعدين لفرزها من بعضها البعض، بفرش الببتيدات على الورقة. أدرك فيرنون أن هذه هى الطريقة التى يحتاجها بالضبط لرصد تغيرات صغيرة فى البروتين. ولحسن الحظ كان ماكس قد أرسل بعض هيموجلوبين الخلية المنجلية، وأعطى بعضًا منها لفيرنون لاختبارها. ولسروره البالغ، كانت بصمة هيموجلوبين الخلية المنجلية مختلفة عن الهيموجلوبين العادى فى موقع ببتيد واحد.

واستطاع فيرنون أن يفصل الببتيد المعدل، وأن يحدد تتاليه، ويوضح أن الاختلاف يعود حقا إلى تغير فى حامض أمينى واحد. كان حامض الفالين قد حل محل حامض الجلوتاميك. وفى مرحلة ما، على ما أذكر، ظن فيرنون أن التغير ربما حدث فى حامضين أمينين. وكنت أنا وجيم أكثر جرأة حينئذ، ورفضنا تصديق ذلك. وقلنا له: "أعد التجربة يا فيرنون" "ستعرف أنه لا يوجد سوى تغيير واحد"، وهذا ما اتضحت صحته.

كانت تلك النتيجة مدهشة من جانبين. تعتبر أنيميا الخلية المنجلية مرضا يشكل خلاله الهيموجلوبين المعدل نوعا من البللورات داخل الخلايا "الحمراء" فى الدم عندما يترك أكسوجينه فى الأوردة. ويؤدى ذلك غالبا إلى كسر وفتح الخلايا الحمراء، لذلك يصاب المرضى بنقص مزمن فى الهيموجلوبين فى دمائهم، وفى كثير من الحالات يتوفون فى سن المراهقة. ويضاف إلى ذلك أن هذا التأثير القاتل يحدث بسبب تبديل ضئيل فى جين واحد فقط من جينات الكائن الحى الكثيرة (نعرف حاليا أنه يعود إلى تغير فى قاعدة واحدة). ويشكل أساسى يصيب الخلل جزيئين فقط، أحدهما يأتى بالميراث من جهة الأب والآخر من الأم. كيف يمكن لمثل هذا التغير بالغ الصغر أن يقتل شخصا؟ يتمثل السبب فى تراكم التضخيم ؛ حيث يتم نسخ الجين المصاب كثيرا من المرات؟ حيث إن كل خلية فى الجسم لديها نسختها الخاصة. عندئذ يحدث فى كل أسلاف الخلية الحمراء، أن يكون قد تم نسخ كل جين كثيرا من المرات على هيئة الرنا المرسال، وكل رنا مرسال يوجه تركيب كثيرا من جزيئات البروتين المصابة. ويحدث

تكبير فى الخلل الذرى بالغ الصغر تكبير تلو تكبير حتى تتكون كمية كبيرة من البروتين المصاب فى جسم المريض، من الضخامة بحيث تكفى لقتله إذا كانت الظروف غير مواتية.

وكان الجانب الآخر المدهش جانب علمي. إنه لغريب حقا، أنه حتى ذلك الوقت لم يأخذ أغلب علماء الوراثة وعلماء كيمياء البروتين مأخذا جادا إن مجالاتهم الخاصة مترابطة. بالطبع كان عدد قليل من الأفراد بعيدى النظر، مثل هيرمان مولير وجى. بى. إس. هالدان، مدركين للارتباط المحتمل، لكن كل مجال يتابع أهدافه بقليل من الاهتمام بالمجالات الأخرى. أدت نتيجة إنجرام إلى تغير مؤثر فى الموقف. وفى ذلك الوقت تقريبا التقيت فريد سانجير، أظن أن ذلك حدث فى القطار إلى لندن. وقال إنه ومجموعته الصغيرة أدركوا أن عليهم تعلم قليل من علم الوراثة، وهو موضوع لا يعرفون عنه شيئا البتة، حتى تلك اللحظة، إلا أنه موجود.

اتخذت ترتيبات بأن نجتمع فى لقاءات مسائية أسبوعية فى غرفة المعيشة عندى فى جولدين هيليكس. وافق سيدنى برينير وسيمور بينزير على حضور تلك الدروس الخصوصية. وأتذكر أن اللقاء الأول كان مفعما بالحيوية إلى حد ما. أتى سيدنى قبل الآخرين بقليل. سألته عن ما ينوى قوله. قال إنه يرى أن يبدأ بمندل والبسلة. قلت إن ذلك ربما يمثل الآن موضة قديمة بعض الشيء. لما لا نبدأ بالكائنات أحادية الصبغات (التى لديها نسخة واحدة فقط من المادة الوراثية)، مثل البكتيريا، أفضل من البسلة أو الفئران أو البشر؛ حيث إنها مضاعفة الصبغيات (أى لديها نسختان فى كل خلية) وبالتالى فهى أكثر تعقيدا؟ وافق سيدنى. وألقى محاضرة رائعة، تناولت بشكل رئيسى الاختلاف بين النمط الجينى genotype والنمط الظاهرى phenotype ، موضحا بأمثلة من البكتيريا والفيروسات البكتيرية. وكان كل الأمر أكثر إثارة عندما علمت بعد ذلك أن سيدنى كان يرتجل كلما توغل فى عرض الموضوع.

وأظن أنه يوجد هنا درس لمن يريدون بناء جسر بين مجالين متميزين ، لكنهما مرتبطان بشكل واضح (قد يكون مثالا حديثا لذلك علم الإدراك وبيولوجيا الأعصاب). ولست واثقا أن المناقشات المنطقية، مهما كانت منظمة جيدا، ستكون نتائجها أفضل. قد تنتج وعيًا بالروابط الممكنة، لكنها لن تتيح أكثر من ذلك. قد لا يكون أغلب علماء

الوراثة مقتنعين بتعلم كيمياء البروتين، مثلا، لا لشيء إلا أن بضعة أشخاص أذكياء ظنوا أن هذا هو الطريق الذى كان على علم الوراثة أن يسلكه. وظنوا (مثلهم مثل الوظائفيين حاليا) إن منطق موضوعهم لا يعتمد على معرفة كل التفاصيل الكيميائية الحيوية. قال لى عالم الوراثة آر. إيه مرة إن ما يجب علينا توضيحه لماذا كانت الجينات منتظمة مثل الخرز فى خيط. ولا أظن أنه خطر على باله أن الجينات تكوّن الخيط!

والذى يجعل الناس تقدر حقا الارتباط بين مجالين هو ظهور بعض النتائج الجديدة الباهرة التى تربط المجالين بوضوح بطريقة مثيرة. ومثال واحد جيد أجدى من طن من الجدل النظرى. وإذا توافر ذلك، سرعان ما يزدحم الجسر بين المجالين بعاملين فى الأبحاث تواقين إلى الانضمام للطريقة الجديدة.

الفصل العاشر

النظرية فى البيولوجيا الجزيئية

كما اتضح توا، كانت الشفرة الجينية مشكلة قد لا تخضع كلية للمداخل النظرية. ولا يعنى ذلك أن بعض الأطر النظرية العامة قد لا تكون مفيدة، حتى لو اقتصر دورها على تحديد الاتجاهات التى يجب أن تسير عليها التجارب. وطبيعة بنية الدنا هى التى بعثت الحياة فى مثل هذه الأفكار، وإلا فإن فائدتها كانت ستظل مبهمة تماما. تمت دعوتى فى ١٩٥٧ لتقديم بحث فى ندوة لجمعية البيولوجيا التجريبية فى لندن. وأتاح ذلك فرصة لى لكى أفرز وأكتب أفكارى، التى كان أغلبها قد تمت صياغته سابقا.

كان الذى أوضحته بنية الدنا أن تتالى القواعد فى الدنا يشفر لتتالى الأحماض الأمينية فى البروتين المعنى. وأطلقت على ذلك فى البحث الذى قدمته فرضية التتالى. عند قرائتى له، رأيت أننى لم أعبر عن نفسى بدقة كافية؛ حيث قلت: "..... إنها تفترض أن خصوصية قطعة من الحامض النووى لا تعبر عن نفسها بتتالى قواعدها فقط، وأن هذا التتالى هو شفرة "بسيطة" لتتالى الحامض الأمينى لبروتين محدد". ويتضمن ذلك بشكل ما أن "كل" تتاليات الحامض النووى يجب أن تشفر للبروتين، وهو بالتأكيد ما لم أكن أعنيه. كان يجب علىَّ أن أقول إن الطريقة الوحيدة للجين لتشفير تتالى حامض أمينى لبروتين يتم بواسطة تتالى قواعده؛ مما يترك المجال مفتوحا لإمكانية استخدام هذه الأجزاء من تتالى القاعدة فى أغراض أخرى، مثل آليات التحكم (لتحديد ما إذا كان جينا معينا عليه أن ينشط وبأى معدل) أو لإنتاج الرنا لأغراض أخرى غير التشفير. ومع ذلك، لا أظن أن أحدا انتبه إلى هفوتى، فوقع ضرر بسيط.

وكان للفكرة النظرية الأخرى التى قدمتها طبيعة مختلفة إلى حد ما. قلت إنه "بمجرد أن تصبح (المعلومة) بروتينا لا يمكن استخلاصها من جديد"، وأضفت "تعنى المعلومات هنا التحديد الدقيق للتتالى، إما للقواعد فى الحامض النووى أو لبقايا الحامض الأمينى فى البروتين" (انظر الملحق أ).

وأطلقت على تلك الفكرة العقيدة (دوجما) الرئيسية، لسببين كما أظن. كنت قد استخدمت سابقا كلمة فرضية الواضحة فى فرضية التتالى، إضافة لذلك أردت أن أوضح أن ذلك الفرض الجديد رئيسى أكثر من غيره وأكثر قوة. واعتقدت أن طبيعتهما الفكرية تتأكد باسميهما.

وكما اتضح، يسبب استخدام كلمة عقيدة إلى حد ما كثيرا من المتاعب أكثر مما تستحق. بعد عدة سنوات قال لى جاك مونود إنه يبدو أننى لا أفهم الاستخدام الصحيح لكلمة عقيدة، التى تعنى "الذى لا يمكن الشك فيه". كنت أدرك ذلك بطريقة غامضة؛ حيث إننى ظننت أن "كل" العقائد الدينية بلا أساس جاد؛ فاستخدمت الكلمة بمعنى فهمى الشخصى لها، وليس كما يفعل بقية الناس، وطبقت هذا المعنى على فرضية عظيمة لم تتمتع، أيا كانت جدارتها بالتصديق، سوى بقليل من الدعم التجريبى المباشر.

ما فائدة مثل تلك الأفكار العامة؟ من الواضح أنها تأملية، وبالتالى يمكن أن تكون خاطئة. ومع ذلك، فإنها تساعد فى تأسيس فرضيات أكثر إيجابية ووضوحا. وإذا تمت صياغتها جيدا، يمكنها أن تلعب دور المرشد خلال اختلاط النظريات المتشابك. وبدون مثل هذا المرشد، يبدو أن التوصل إلى نظرية أمر مستحيل. وبتوافره، يتلاشى كثير من الفرضيات، ويرى المرء - بوضوح أكثر - على أى الفرضيات يجب التركيز. وإذا كان مثل هذا المدخل يبقى المرء ضائعا فى الغابة المتشابكة، عليه أن يحاول مرة أخرى مستخدما عقيدة (دوجما) جديدة، ليرى هل يسفر ذلك عن شىء أفضل. ولحسن الحظ أنه فى البيولوجيا الجزيئية كانت أول عقيدة تم اختيارها هى التى اتضحت صحتها.

وأظن أن هذه أحد أهم الوظائف التى يمكن للنظرية أن تؤديها فى البيولوجيا. وفى أغلب الحالات من المستحيل فعليا بالنسبة لواضع النظريات أن يصل، بالتفكير فقط، إلى الحل الصحيح لمجموعة مشاكل بيولوجية. ولأن الآليات المستخدمة تطورت بالانتخاب الطبيعى؛ فإنها تكون عادة عرضية تماما وبالغة التعقيد. وأفضل ما يأمل فيه

واضع النظرية أن يوجه عالما تجريبيا إلى الاتجاه الصحيح، ويتم ذلك فى أغلب الأحوال بتوضيح الاتجاهات التى يجب تجنبها. وإذا كان أحد لديه قليل من الأمل فى التوصل، بدون مساعدة، إلى النظرية الصحيحة، فإن الأكثر فائدة له أن يقترح نوع النظريات التى لا يحتمل أن تكون صحيحة، باستخدام بعض المناظرات العامة حول ما هو معروف عن طبيعة المنظومة.

باستعراض ما سبق، يمكن الآن معرفة أن "حول تركيب البروتين" مزيج من الأفكار الجيدة والرديئة، من نفاذ البصيرة والهراء. وتلك التبصرات التى تمت البرهنة على صحتها هى القائمة أساسا على المناظرات العامة، باستخدام بيانات توطدت عبر فترة من الزمن. وانبثقت الأفكار الخاطئة بشكل أساسى من النتائج التجريبية الأكثر حداثة، التى اتضح فى أغلب الحالات أنها إما غير مكتملة أو مضللة، إن لم تكن خاطئة تماما.

وحتى فى تلك المرحلة تسللت فكرة خاطئة. من الواضح أننى اعتقدت أن الرنا فى السيتوبلازم _ فى جزيئات ميكروسومية، كما كان يطلق عليها حينئذ (لم تكن كلمة ريبوسوم قد وصلت بعد إلى الاستخدام العام) _ عبارة عن "قالب": أى، كشىء له بنية صلبة إلى حد ما، مقارنة باللولب المزدوج للدنا رغم أنه يحتمل احتواؤه على سلسة واحدة فقط. وفى وقت لاحق فقط أدركت أن ذلك كان تقييدا بالغا للفكرة، وأن "شريط" قد يكون الأقرب إلى الحقيقة. تماما مثل شريط التلغراف الذى ليس له بنية صلبة إلا لحظة وجوده فعلا فى ماكينة التلغراف، وعرفت أخيرا أن الرنا الموجه لتركيب البروتين لا يجب أن يكون صلبا، لكن يمكن أن يكون مرنا، إلا بالنسبة لذلك الجزء الذى يشفر للحامض الأمينى التالى الجارى دمجه. وكانت النتيجة الأخرى لتلك الفكرة أن نمو سلسلة البروتين لا يجب أن تستمر على القالب، بل عليها أن تبدأ فى طى نفسها كلما تقدمت عملية التركيب، وهو فى الحقيقة ما تم اقتراحه مبكرا.

كان هناك خطأ آخر أكثر جدية فى تفكيرى فى ذلك الوقت. لن أشرح كل التفاصيل (فهى موجودة فى البحث)، لكن فى الواقع كنت أرتكب أخطاء؛ لأننى كنت أخلط بين الآلية ذاتها (لتركيب البروتين) وآليات منفصلة تماما تتحكم فيها. ويعود ذلك، باختصار، إلى أن بعض التجارب أوضحت أنه كانت هناك حاجة إلى اللوسين الحر

(أحد الأحماض الأمينية) لتركيب الرنا، وتم استنتاج أنه من المحتمل وجود وسائط مشتركة لتركيب البروتين والرنا، التى يمكن استخدامها فى تركيب أحدهما أو تركيب الآخر، حسب المطلوب. وفى الحقيقة أن آلية "التحكم" هى التى تحتاج لوسينا حرا إذا كان المطلوب استمرار تركيب الرنا، ومن المحتمل أن ذلك يعود إلى عدم الحاجة إلى رنا جديد إذا كانت الخلية على درجة عالية من الحرمان من المواد الغذائية؛ مما يجعل اللوسين الحر غير متوافر. وأظن أن المرء يمكن أن يقع بسهولة فى ذلك الخطأ الذى يتمثل فى الخلط بين التأثيرات الناجمة عن طبيعة الآلية نفسها بالتأثيرات الناتجة عن التحكم فيها عندما يحاول تحليل نظام بيولوجى معقد.

ويوجد خطأ آخر فى هذا المستوى العام يستحق الإشارة إليه هنا، وهذا الخطأ هو أن تظن أن عملية ثانوية موجودة لتحسين أداء العملية الرئيسية، هى العملية الرئيسية نفسها، ومن ثم تخرج بنتائج مزيفة عن تلك الأخيرة. ويماثل ذلك أن يكون المرء جاهلا بالعملية الثانوية، ومن ثم يقرر أن آلية مفترضة للعملية الرئيسية لا يمكنها أن تعمل.

تأمل، مثلا، معدل حدوث أخطاء فى عملية نسخ الدنا. ليس من الصعب إدراك أنه إذا كان لدى الكائن الحى مليون زوج قاعدة مهم، فإن معدل حدوث خطأ لكل خطوة فى النسخ لا يجب أن يتجاوز نحو واحد فى المليون. (تم التوصل إلى الصيغة المضبوطة بشكل أفضل بواسطة مانفريد إيجين). والدنا البشرى فيه نحو ثلاثة مليارات زوج قواعد (لكل مجموعة أحادية الصبغات) ورغم معرفتنا الآن بأن جزءاً فقط منها يتم نسخه على نحو صحيح، ولا يمكن أن يتجاوز معدل الخطأ نحو واحد فى مائة مليون (على نحو تقريبى) أو يصيب الدمار الكائن الحى فى عملية التطور بسبب أخطائه الخاصة. يوجد أيضا معدل طبيعى لحدوث أخطاء النسخ (تبعا لتماثل التركيب الطبيعى للقواعد) بحيث يكون من الصعب خفضه تحت نحو واحد فى عشرة آلاف؛ لذلك فمن المؤكد أن الدنا لا يمكن أن يكون المادة الوراثية؛ حيث إن نسخه قد ينتج كثيراً جدا من الأخطاء.

ومن حسن الحظ أننا لم نأخذ ذلك الجدل مأخذا جادا. وطريق الخروج الواضح أن نفترض أن الخلية طورت آليات تصحيح - أخطاء، ولأن اللولب المزدوج يحمل

نسختين (متتامتين) من معلومات التتالى، من السهل إدراك كيف يمكن أداء هذه المهمة. ويمكن أن يكون معدل الخطأ "الملاحظ" (معدل الطفرات) عائدا إلى الأخطاء فى آلية تصحيح _الأخطاء؛ لذلك يمكن خفضه إلى قيمة منخفضة جدا. وكتبت أنا وليسلى أورجيل فعلا خطابا خاصا لآرثر كورنبيرج، نشير إلى هذا الموضوع، ونتنبأ بأن الإنزيم الذى كان يدرسه، والذى نسخ الدنا فى أنبوب اختبار (ويطلق عليه إنزيم كورنبيرج) يجب أن يحتوى داخله هو نفسه تجهيزة تصحيح _أخطاء، وهو ما كان عليه فعلا. ويعتبر الدنا، فى الحقيقة، نفيسًا جدا وبالغ الهشاشة إلى درجة أننا نعرف حاليا أن الخلية طورت تشكيلة من آليات الإصلاح لحماية الدنا الخاص بها من هجمات الإشعاع، المواد الكيميائية، ومن مصادر الخطر الأخرى. وهذا بالضبط نوع الأشياء التى تقودنا عملية التطور بالانتخاب الطبيعى إلى توقعه.

وربما يوجد نوع آخر واحد من الخطأ يستحق أن نذكره. لا يجب أن يكون المرء شديد الذكاء أو، بطريقة أكثر دقة، من المهم عدم الثقة المفرطة فى براهين المرء الخاصة. وينطبق ذلك – بشكل خاص – على المناظرات السلبية، تلك التى ترى أن مدخلا محددا لا يجب بالتأكيد تجريبه ؛ حيث إنه من المحتم فشله.

فالبنظر إلى المثال التالى: بقدر معرفتى لم تحدث هذه المناظرة أبدا، لكنها حدثت دون ريب فى ١٩٥٠ تقريبا. كانت روزاليند فرانكلين قد توصلت إلى أن ألياف الدنا، خاصة إذا تم نزعها بعناية ووضعها فى أحوال تسمح بالتحكم فى الرطوبة، يمكن أن تتيح نمط تحليل بالأشعة السينية لما يطلق عليه النوع أ، الذى يتوافر فيه كثير من البقع الواضحة إلى حد ما. وباستخدام نظرية تحويلات فوريير ، يمكن فورا ملاحظة أن تلك البقع تشير إلى وجود بنية ذات تكرار منتظم. إذا كان الدنا هو المادة الوراثية؛ فمن الصعب أن يكون له تكرار منتظم؛ حيث إنه يمكنه حمل المعلومات؛ لذلك فإن الدنا لا يمكن أن يكون مادة وراثية.

ومع ذلك، يوجد برهان مضاد لما سبق. لا تمتد بقع الأشعة السينية إلى مسافات بالغة الصغر؛ فلماذا تتناقص البقع بهذه الطريقة؟ إما أن تكون البنية بالغة الانتظام، لكنها محرفة بطريقة عشوائية ما فى الليف، أو أن يكون جزء من البنية منتظمًا وآخر غير منتظم؛ فإذا كان هذا صحيح، لماذا لا يحمل الجزء غير المنتظم المعلومات الوراثية؟

وإذا كان الأمر كذلك، فإن حل مشكلة الجزء المنتظم فى بنية الأشعة السينية، باستخدام البقع التى قد توجد، لن يتيح لنا أبدا ما نحتاج إلى معرفته - طبيعة المعلومات "الوراثية" - فلماذا نزعج أنفسنا باتباع تلك الطريقة؟

بمعرفة الإجابة يتم الكشف عن المغالطة فى هذا الجدل السلبى. وإنه لأمر حقيقى أن معلومات الأشعة السينية على الألياف لا يمكنها أبدا أن تتيح لنا التفاصيل الجوهرية لتتالى القواعد. والمتوقع أن تؤدى إليه المعلومات هو نموذج اللولب المزدوج بازدواج القواعد كأهم صفة له. ومع التحليل المنخفض المصاحب لهذه البقع، يكاد زوج القواعد الواحد يشبه أى ثلاثة أزواج أخرى، ولكن ما أوضحه لنا النموذج، لأول مرة، كان "وجود" أزواج القواعد، واتضح أن ذلك بالغ الأهمية فى التطور السريع فى مجال هذا البحث.

ما هو إذن الجدل الصحيح الذى يجب اتباعه؟ من المؤكد أنه يتمثل فى أن الطبيعة الكيميائية للجينات تعتبر موضوعا بالغ الأهمية. كان معروفا أن الجينات موجودة فى الكروموسومات، وكان هذا هو المكان الذى عُثر فيه على الدنا؛ لذلك يجب متابعة كل ما يخص الدنا إلى أقصى الحدود الممكنة؛ حيث لا يمكن أبدا التأكد مما يمكن أن يؤول إليه دليل ما، ولأنه يجب على المرء بالتأكيد أن يحاول التفكير فى الطرق الجديدة بالمتابعة من تلك غير الجديدة، من الحكمة أن يكون حذرا تماما تجاه أدلته الخاصة، خصوصا إذا كان الموضوع مهم ؛ حيث إن ثمن استبعاد مدخل مفيد سيكون ثمنا مرتفعا.

كان المثال السابق حول الدنا افتراضيا، لكننى وقعت فى شرك هذا الطريق أكثر من مرة. كانت التجارب قد أوضحت أن جزيئات الرنا الناقل (رنا - ن) موجودة، وأن الأحماض الأمينية تصاحبها، وأنه من المحتمل وجود كثير من أنواع جزيئات (رنا- ن)، كل منها مع حامضه الأمينى الخاص. وكانت الخطوة التالية الواضحة تنقية نوع واحد على الأقل من الرنا الناقل بتخليصه من كل رنا ناقل آخر حتى يمكن معرفة المزيد عنه؛ حيث كان من الأفضل - كما هو واضح - العمل كلما أمكن على أنواع نقية وليس على خليط.

كانت المشكلة كيفية تجزيء هذا الخليط. وفكرت أن كل جزيئات (الرنا - ن) عليها أن تؤدى نفس العمل وخاصة عليها أن تلائم نفس المكان، أو نفس مجموعة الأماكن، فى الريبوسوم، لذلك لابد أن تكون متماثلة إلى حد كبير بالنسبة لبعضها البعض ومن هنا يصعب فصلها. والوسيلة الوحيدة لفصلها، كما فكرت، هى استخدام طريقة ما تحاول تثبيت الحامض الأمينى المتصل بالرنا، بأن تعثر على المجموعة الخاصة الجانبية لذلك الحامض الأمينى وتختار واحدا، مثل السيستين، الذى يعتبر من الناحية الكيميائية نشطا وفريدا من نوعه، حتى إننى حاولت إجراء ذلك تجريبيا.

ولم تكن هذه الطريقة فى التفكير ساذجة تماماً، لكن اتضح أننى مخطئ. ورغم عدم معرفتى بذلك حينها، اتضح أن أغلب جزيئات (الرنا - ن) لها كثير من القواعد المعدَلة. ويغير هذا التعديل صفاتها الكروماتوجرافية فيصبح ممكنا فصلها بطرق تجزيء أكثر سهولة؛ حيث يكون المطلوب، فى بداية الأمر، الحصول على واحد منها فقط. ولا حاجة للتحديد المسبق لنوع (الرنا - ن) المطلوب دراسته، وببساطة يتم إجراء التجارب على ذلك النوع الذى يسهل عزله. وكما أوضح عالم البيولوجيا الجزيئية بوب هولى، اتضح أن ذلك (الرنا - ن) هو المخصص للألانين؛ لأنه يمتد بشكل مختلف عن أنواع (الرنا - ن) الأخرى على عمود كروماتوجرافى. ومن جديد كانت الرسالة إلى من يجرون التجارب: فالتقتنعوا بالمناظرات السلبية، ولكن لا تبالغوا فى الإعجاب بها. وإذا كانت ممكنة التصديق بدرجة ما، جربوها ولاحظوا ما تؤول إليه. ولا يرحب واضعو النظريات عادة بهذا النوع من المداخلات.

وهكذا فإن الطريق إلى النجاح فى البيولوجيا النظرية حافل بالمجازفات. من السهل تماما وضع بعض الافتراضات المبسطة الجديرة ظاهريا بالتصديق، والاستعانة ببعض الرياضيات المحكمة التى توحى بأنها ملائمة بشكل تقريبى لبعض المعلومات التجريبية على الأقل، والاعتقاد بأنه قد تم إحراز شيء ما. وتكون فرصة هذه الطريقة فى إحراز أى شيء مفيد، بغض النظر عن استرضاء غرور واضعى النظريات، ضئيلة بالتأكيد، وخاصة فى مجال البيولوجيا. إضافة إلى ذلك فإننى توصلت، لدهشتى، إلى أن أغلب واضعى النظريات لا يقدرون الاختلاف بين النموذج model والبرهنة بالأمثلة أو التجارب demonstration ، ويظنون غالبا أنهما نفس الشيء.

وحسب مصطلحاتى الفنية، أعتبر "البرهنة" نظرية "لا تشغل بالك" (انظر تلك الموضحة فى صفحة ١٢١) . أى، أنها لا تزعم أنها تقترب من الإجابة الصحيحة، لكنها تشير إلى أنه على الأقل يمكن وضع نظرية من هذا النوع. ومن جهة ما فهى فقط برهان متوافر. ومن اللافت للنظر، يوجد فى المادة التى كتبت فى هذا الموضوع مثال لتلك البرهنة فى ما يتعلق بالجينات والدنا.

كان ليونيل بينروز عالم وراثة شهير، توفى فى ١٩٧٢ ، قد حصل فى سنوات عمره الأخيرة على كرسى جالتون المهيب فى جامعة كولدج فى لندن. وكان مهتما بالبنية المحتملة للجين (وهو ما لم يكن حال كل علماء الوراثة فى ذلك الوقت). وكان يحب أيضا عمل "الزخارف" (كما يطلق عليها فى إنجلترا)، بإنتاج أشياء من خشب من طبقات رقيقة مغراة بواسطة منشار رقيق. وبنى عددا من تلك النماذج للبرهنة على الكيفية المحتملة لنسخ الجينات. وكانت للأجزاء الخشبية أشكال بارعة، بالخطافات والتجهيزات الأخرى، حتى إنه عندما يتم هزها كانت تنفصل ثم تتصل ببعضها البعض بطريقة مسلية. ونشر بحثا علميا يصفها ومقالة أكثر شعبية فى "سينتفيك أمريكان". وروى ابنه هذه الحكاية، روجر بينروز، عالم الفيزياء النظرى وعالم الرياضيات الشهير، التى نشرت فى نعى أبيه ، وكتبها للجمعية الملكية.

واصطحبنى لمقابلة ليونيل بينرز ومشاهدة نماذجه عالم الحيوان موردوخ ميتشيسون. وحاولت أن أبدى اهتماما مهذبا، لكنى وجدت بعض الصعوبة فى اعتبار الموضوع جاد تماما، والذى كان غريبا بالنسبة لى أن ذلك حدث فى منتصف الخمسينيات، بعد النشر عن اللولب المزدوج للدنا. وحاولت تنبيه بيروز إلى نموذجنا، لكنه كان أكثر اهتماما بـ "نماذجه" الخاصة. واعتقد أنها ربما كانت مناسبة لفترة ما قبل - الدنا عند نشوء الحياة.

ولم تكن لقطعه الخشبية، بقدر حدود معرفتى، علاقة واضحة بالمركبات الكيميائية المعروفة (أو غير المعروفة). ولا أعتقد أنه كان يظن أن الجينات كانت مصنوعة من قطع من الخشب، وعلاوة على ذلك لم يكن مهتما بتاتا بالمواد الكيميائية العضوية أيضا. لماذا إذن كانت طريقته قليلة الفائدة إلى هذه الدرجة؟ السبب أن نموذجه لم يقرّب الشىء الحقيقى القرب الكافى. وبالطبع، يكون أى نموذج بالضرورة تبسيطا من نوع ما. كان

نموذجنا عن الدنا مصنوع من المعدن، لكنه عبّر بتقريب كبير عن المسافات المعروفة بين الذرات الكيميائية، وفى الروابط الهيدروجينية، وضع فى اعتباره القوى المختلفة للروابط الكيميائية المتنوعة. ولم يكن النموذج فى حد ذاته مطابقا لقوانين الميكانيكا الكمية، لكنه عبّر عنها إلى حد ما. لم يكن يهتز، بناء على الحركة الحرارية، لكننا استطعنا إدخال الاهتزازات فى حسابنا. كان الفارق الحاسم بين نموذجنا ونموذج بينروز أن نموذجنا أدى إلى تأكيدات تفصيلية للمسائل التى لم يتم وضعها بوضوح فى النموذج. ربما لا يوجد خط فاصل دقيق بين البرهنة والنموذج، لكن فى تلك الحالة كان الفارق واضحا جدا. كان اللولب المزدوج، بتعبيره عن سمات كيميائية تفصيلية، نموذجا حقيقيا، بينما لم يكن نموذج بينروز أكثر من مجرد برهنة، نظرية "لا تشغل بالك".

وأغرب ما فى الأمر أن "نموذجه" جاء بعد نموذجنا بكثير. ما الذى كان يفتنه فى ذلك؟ أظن، السر، أنه أحب عمل الزخارف بالمنشار، اللعب بقطع الخشب الصغيرة، وكان مبتهجا بأن تتمكن هوايته المفضلة من إلقاء الضوء على أحد أهم المشاكل فى حياته المهنية ـ طبيعة الجين. ويخامرنى شعور، من جهة أخرى، بأنه كان يكره الكيمياء، ولا يريد أن يزعج نفسه بها.

ولا يسعنى إلا أن أتصور أن كثيرا من "نماذج" المخ التى ابتلينا بها يتم إنتاجها فى أكثر الأحيان ؛ لأن مبدعيها يحبون اللعب بالكمبيوتر ووضع برامج كمبيوتر، ويتم التحمس لها عندما يصل البرنامج إلى نتيجة جذابة. ويبدو مستبعدا أنهم يهتمون بما إذا كان المخ يستخدم فعلا التجهيزات الموجودة فى "نموذجهم".

لذلك، فإن النموذج الجيد فى البيولوجيا، لا يجب أن يواجه فقط المشكلة الموجودة ولكن عليه أن يساهم أيضا، بقدر المستطاع، فى توحيد الأدلة المستقاة من عدة طرق متنوعة حتى يمكن إجراء أنواع مختلفة من الاختبارات عليه. وقد لا يكون من الممكن دائما إجراء ذلك بالشكل الصحيح – لا يمكن الاختبار الفورى لنظرية عن الانتخاب الطبيعى على المستويين الخلوى والجزيئى، لكن أية نظرية ستستحق دائما مزيدا من الاهتمام إذا تم دعمها بدليل غير متوقع، خاصة إذا كان دليلا من "نوع" آخر.

الفصل الحادى عشر

المرسال المفتقد

والحدث التالى الذى أود الإشارة إليه يتعلق بما نطلق عليه حاليا الرنا المرسال. أتاحت لنا بنية اللولب المزدوج للدنا إطارا نظريا كان نفيسا كمرشد للبحث؛ حيث إنه لم يكتف بربط الطرق معا، تلك التى بدت للوهلة الأولى لا تربطها علاقة ببعضها البعض، لكنه فتح الطريق أيضا أمام تجارب جديدة تماما لم يكن ممكنا تخيلها بدون نموذج الدنا كمرشد. ولسوء الحظ، كان فى تفكيرنا خطأ رئيسى. لم يكن من المؤكد حينئذ ما إذا كان يتم تركيب أى بروتين فى نواة الخلية (حيث يوجد أغلب الدنا)، لكن كل شيء كان يشير إلى أن أغلب عملية التركيب تلك تحدث فى السيتوبلازم. وبطريقة ما كان يجب توفير معلومات التتالى فى الدنا النووى خارج النواة، فى السيتوبلازم. كانت الفكرة الواضحة، التى سبقت نموذج الدنا، أن ذلك المرسال هو الرنا، وكان هذا أساس الشعار الذى سكه جيم واطسون: " الدنا يصنع الرنا الذى يصنع البروتين".

كان معلوما أن الخلايا الناشطة جدا فى عملية تركيب البروتين لديها مزيد من الرنا فى السيتوبلازم الخاص بها أكثر من الخلايا الأقل نشاطا. وفى أواخر الخمسينيات تم التوصل إلى أن أغلب الرنا الخاص بها كان على هيئة جزيئات صغيرة، يطلق عليه حاليا الريبوسومات، الذى يحتوى على جزيئات الرنا مضافا إليها خليط من البروتينات. ما الأكثر طبيعية من افتراض أن كل ريبوسوم يركب بروتينا واحدا فقط، وأن الرنا الخاص به كان هو الرنا المرسال المفترض؟ افترضنا أن كل جين ناشط ينتج نسخة رنا من نفسه (واحدة _قياسية)، وأنها تكون فى النواة فى رزمة مع مجموعة من البروتينات لمساعدتها فى تأدية عملها ثم تصدر إلى السيتوبلازم؛ حيث تشرف على تركيب سلسلة عديد ببتيد خاصة حسب تشفيرها بواسطة هذا الرنا، ويمكن لكل

ريبوسوم، يعمل باتساق مع جزيئات الرنا الناقل (انظر الملحق أ)، أن يعبر بطريقة ما عن تفاصيل الشفرة الوراثية (وهو أمر تخمينى لم يكتشف بعد) حتى يمكن ترجمة لغة الأحرف الأربعة للرنا إلى لغة العشرين حرفا للبروتينات.

وفى نحو ذلك الوقت، تناقشت ببعض التطويل مع سيدنى برينير حول كيف يمكننا البرهنة على تلك الفكرة بعزل ريبوسوم مفرد، وإمداده بكل المواد الخام الضرورية، لنصل إلى أنه ينتج نوعا واحدا فقط من البروتين. ولحسن الحظ أن بدت المشكلة ذات صعوبة لا أمل فى مواجهتها؛ لأن التقنيات التى كانت متوافرة فى ذلك الوقت لم تكن بالدقة الكافية. وكان من المحتمل أن نضيع كثيرا من الوقت والجهد فى تجارب صعبة، كان من المحتم لها أن تفشل؛ حيث إننا كنا نجهل طبيعة هذه التجارب أيضا.

وحيث إنه كان واضحا أن الريبوسومات بنيات مهمة، كانت تجارب كثيرة تجرى عليها. وكانت التقنيات المستخدمة جديدة فى أغلب الأحوال مما فتح المجال للشك، ونادرا ما كانت النتائج قاطعة. وبرغم ذلك، بدأت سلاسل من "الحقائق" المربكة تحاول جذب الاهتمام. وبدا مستبعدا فهم الرنا الريبوسومى فى خلية بكتيرية نامية بأية طريقة، ومن ثم وصفت بأنها "منتج أيضى خامل". وكان من المتوقع أن تتنوع أطوال جزيئات الرنا فى الريبوسومات؛ حيث إن بروتينا واحدا يكون غالبا مختلف فى الطول تماما عن غيره من البروتينات. فوق ذلك أوضحت التجارب أن الرنا الريبوسومى له حجمان ثابتان فقط. ويتنوع تركيب قاعدة الدنا لدى الأنواع المختلفة من البكتيريا عبر نطاق واسع. ويمكن توقع أن يكون الرنا المرسال الخاص بها متنوعا بنفس الطريقة، إضافة إلى أن تركيب المرسال المفترض، الرنا الريبوسومى، يتنوع قليلا فقط فى تلك الأنواع شديدة الاختلاف. يمكننا ابتكار أسباب، يتم إنشاؤها لأغراض خاصة، لشرح كل هذه الحقائق الواهية، لكنها ضايقتنا. أمضيت أنا وسيدنى كثيرا من الساعات نفحص الدليل، محاولين رصد الخطأ.

وكما تبين، جاء التوضيح من مصدر مختلف تماما. أجرت مجموعة العاملين فى معهد باستير فى باريس تجربة تعرف باسم تجربة باجامو PaJaMo ؛ لأن مبتكريها كانوا أرثر باردى (أمريكى زائر)، وجاكوب، ومونود.

كان اهتمام مونود الرئيسى بتكوين الإنزيمات المستحثة، وخاصة إنزيم بيتا - جالاكتوسيداس. وتشرع الخلية فى تركيب هذا الإنزيم إذا تم إمدادها بسكر اللبن بديلا عن الجلوكوز الأكثر شيوعا. وكان اهتمام جاكوب الرئيسى بكيفية نقل المعلومات الوراثية بين الخلايا خلال التزاوج. وأجرى هو وإلين وولمان تجربة الخلاطة المشهورة على البكتيريا؛ حيث أتيح للخلايا "المذكرة" و"المؤنثة" أن تتحد معا، ثم، بعد وقت محدد، تم فصلها عن بعضها البعض بوضعها فى خلاطة وارينج، كمثال لقطع النكاح الجزيئى. ولحسن الحظ تكون عملية التزاوج عملية ممتدة (قد تستغرق حتى ساعتين، مناظرة لكثير من الأعمار العادية للخلية سريعة النمو)، مما يجعل أمر دراستها أكثر سهولة. وأوضحا أن الجينات تم نقلها بطريقة خطية خلال تلك الفترة، بترتيب ثابت، لذلك كان قطع العملية ذو تأثير ضعيف على الجينات المبكرة، لكنه منع نقل الجينات المتأخرة. وتبين أن ذلك كان أهم اكتشاف فى علم الوراثة البكتيرى، أزال سلاسل كاملة من التعقيدات والصعوبات التى تراكمت عبر السنين.

من وجهة نظرنا كان الجانب المهم فى تلك العملية أن جينا محددا، مثل جين بيتا- جالاكتوسيداس، يمكن إدخاله فى الخلية فى الوقت المطلوب؛ لذلك كان ممكنا معرفة كيفية تغير تركيب هذا البروتين مع الوقت، بعد إدخال الجين فى الخلية.

كانت النتيجة مدهشة. كان علينا أن نتوقع أن يبدأ الجين الجديد سريعا إلى حد ما فى إنتاج ريبوسوماته الخاصة، التى تتراكم ببطء، وأن ذلك سيتسارع باطراد كلما دخل مزيد ثم مزيد من الريبوسومات فى عملية تركيب البروتين.

وتوصلت تجربة باجامو إلى شىء مختلف تماما. بعد وقت قصير من إدخال الجين تحركت عملية تركيب بيتا - جالاكتوسيداس بمعدل سريع تماما ، واستمرت على هذا المنوال.

من الطبيعى أننا كنا غير راغبين فى تصديق تلك التجربة. أخبرنا عنها للمرة الأولى جاك مونود خلال زيارته كمبريدج، ولكن فى تلك المرحلة كانت النتائج أولية. وانتابنا القلق حيالها خلال الأشهر اللاحقة. وحاولت أن أدبر مخرجا، لكن محاولاتى بدت متكلفة جدا.

بعد وقت طويل جاء فرانسوا جاكوب إلى كمبريدج ، وفى الجمعة الحزينة، فى ١٩٦٠ عندما كان المختبر مغلقا، تلاقت مجموعة صغيرة منا فى حجرة فى مبنى ريجس فى الكلية الملكية؛ حيث كان سيدنى عضوا فى الإدارة. وقدم هوراس جودسون قصة أكثر اكتمالا عن كل الأحداث، وهنا سأعرض فقط بإيجاز النقاط الرئيسية.

بدأت باستجواب فرانسوا حول تجربة باجامو؛ حيث كان هناك كثير من نقاط الغموض المحتملة فى البحث الأصلى. وحكى لنا فرانسوا بالتفصيل كيف تم تطوير التجارب. وأشار أيضا إلى تجربة حديثة جدا أجراها باردى ومونيكا ريلى فى بيركلى. وأدركنا بتمهل أن علينا أن نقبل صحة النتائج. ويعتبر ما حدث حينئذ بالضبط أمرا غامضا؛ حيث إنه تم إلغاؤه بما تلاه، لكن قطار الأفكار يمكن إعادة تكوينه بسهولة. توصلت تجارب باجامو إلى أن الرنا الريبوسومى لا يمكن أن يكون الرسالة. وكل الصعوبات السابقة أعدتنا لهذه الفكرة، لكننا لم نستطع الإقدام على الخطوة الضرورية التالية، التى كانت: أين، إذن، الرسالة؟ فى تلك اللحظة أفلت من سيدنى برينر ما يشبه العواء المدو _لقد وجد الحل. (وهذا ما وجدته أيضا، فى ما يتعلق بهذا الأمر، ومع ذلك لم يتوصل أى شخص آخر إلى نفس النتيجة). كانت إحدى المشاكل المحيطة بهذا الموضوع المشوش نوعًا ثانويًا من الرنا يوجد لدى إى. كولاى بعد وقت قصير من إصابتها بملتهم البكتيريا تى. ٤. (إى. كولاى، بكتيريا تعيش فى أمعائنا، تستخدم بكثرة فى المختبر). وقبل بضع سنوات سابقة، فى ١٩٥٦ ، كان عالمان فى الأبحاث هما إليوت فولكين ولازاروس أستراشان، قد أوضحا أن نوعا جديدا من الرنا المصطنع كان فيه تركيب قاعدة غير عادى؛ حيث كان يعكس تركيب القاعدة لملتهم البكتيريا المعدى وليس للعائل إى. كولاى، الذى تصادف أن يكون مختلفا إلى حد بعيد. ظنوا فى البداية أن ذلك قد يكون سلف دنا ملتهم البكتيريا، التى أرغمت الخلية على صناعته بكميات ضخمة، لكن مزيدا من العمل الدقيق من جانبهم أوضح أن تلك الفرضية كانت خاطئة. بقيت نتيجتهم معلقة ومدهشة، لكنها لا تجد تفسيرا.

وأصبحت المشكلة: إذا كان الرنا المرسال نوع مختلف من الرنا عن الرنا الريبوسومى، لماذا إذن لم نجده؟ رأى سيدنى أن رنا فولكين _ أستراشان هو الرنا المرسال للخلية المصابة بملتهم البكتيريا. وبمجرد التوصل إلى هذا التبصر المهم، تتالى

الباقى بشكل تلقائى تقريبا. إذا كان يوجد رنا مرسال منفصل، من الواضح عندئذ أن الريبوسوم لا يحتاج إلى الاحتواء على معلومات التتالى. كان مجرد رأس قراءة خامل. وبدلا من ارتباط ريبوسوم واحد بتركيب بروتين واحد فقط، يمكنه أن يمر عبر رسالة واحدة، مركبا بروتينا واحدا، ثم يستلم مزيدا من الرنا المرسال؛ حيث يمكنه تركيب بروتين آخر. ومن السهل تفسير نتائج باجامو بافتراض أن الرنا المرسال تم استخدامه مرات قليلة فقط قبل تدميره. (ظننا فى البداية أنه يستخدم مرة واحدة فقط، لكننا سرعان ما عرفنا أن ذلك تقييد غير ضرورى). ويفسر ذلك الزيادة الخطية للبروتين مع الزمن؛ حيث إن الرنا المرسال لبيتا - جالاكتوسيداس سريعا ما يصل إلى تركيز متزن يكون فيه تركيب الرنا المرسال متعادل مع تحلله. ويبدو ذلك تبذيرا، لكنه يتيح للخلية أن تتسق بسرعة مع التغيرات فى بيئتها.

فى ذلك المساء أقمت حفلة فى جولدين هيليكس. وكثيرا ما كان لدينا حفلات (كانت حفلات علماء البيولوجيا الجزيئية تعتبر الأكثر حيوية فى كمبريدج)، لكن تلك كانت مختلفة. كان نصف الضيوف، مثل عالم الفيروسات روى ماكهام، الذين لم يحضروا اللقاء الصباحى، يقضون فقط وقتا طيبا. أما النصف الآخر، على هيئة مجموعة صغيرة، فإنهم تحاوروا بشغف حول الفكرة الجديدة، مدركين مدى سهولة تفسيرها للبيانات المحيرة، وخططوا بسرعة لتجارب مهمة جديدة تماما لوضع الفرضية موضع الاختبار. وتم إنجاز بعض تلك المهام لاحقا بواسطة سيدنى، خلال زيارة إلى كال تيك، مع فرانسوا، ومات ميسيلسون.

من الصعب نقل شيئين: الأول وميض التنوير المفاجئ عندما لاحت الفكرة للمرة الأولى. ما حدث جدير بالتذكر، يمكننى أن أتذكر تماما أين كنا نجلس فى الحجرة حينئذ أنا وسيدنى وفرانسوا. والثانى أن ما حدث أزال كثيرا جدا من الصعوبات التى كانت تواجهنا. مجرد افتراض واحد خاطئ (أن الرنا الريبوسومى كان هو الرنا المرسال) أفسد أفكارنا بالكامل، حتى بدا الأمر كما لو كنا تائهين فى ضباب كثيف. استيقظت ذلك الصباح ولدى فقط مجموعة من الأفكار المشوشة حول التحكم الإجمالى فى تركيب البروتين. وعندما ذهبت إلى فراش النوم كانت كل مشاكلنا قد وجدت حلا، وظهرت الإجابات المشرقة واضحة أمامنا. بالطبع، احتاج الأمر شهورا وسنوات من

العمل للبرهنة على صحة تلك الأفكار الجديدة، لكننا لم نعد نشعر بالضياع في تلك الغابة. يمكننا معاينة السهول المنبسطة ورؤية الجبال واضحة على البعد.

ومهدت الأفكار الجديدة الطريق أمام بعض التجارب المهمة التي استخدمت لفض أسرار الشفرة الوراثية؛ حيث يمكن الآن تخيل إضافة رسل أو ريبوسومات خاصة (سيان كانت رسل طبيعية أو اصطناعية)، وهي فكرة لم يكن لها معنى سابقا.

من الطبيعي أن تضطر إلى السؤال: لماذا لم ندرك ذلك من قبل؟ بشكل ما أدركنا ذلك، ولكن بسبب عدم وجود ما يدعمه لم ندرك أنه مهم بهذه الدرجة. وتطلب الأمر أن نقبل، أولا، أن الرنا الذي وجدناه في السيتوبلازم لم يكن الرنا المرسال، ومن ثم فإن له وظائف أخرى. ما تلك الوظائف بالضبط، أمر غير واضح حتى في أيامنا هذه، رغم أنه يمكننا وضع تخمينات بارعة. ويتطلب الأمر منا أيضا افتراض نوع مهم من الرنا لم يتم تصوره أبدا. كنت أرغب أن أكون بالجرؤة الكافية لأخطو تلك الخطوة، لكن يبدو أن حذري الطبيعي منعني، والذي يدعو إلى السخرية، بالطبع، أن ذلك كان معروفا في حالة خاصة واحدة (الخلية المصابة بملتهم البكتيريا)، لكننا لم ندركه حتى كان صباح الجمعة الحزينة الحاسم. وبالطبع، كان من المحتم اكتشاف الرنا المرسال في آخر الأمر، لكن شكي ضعيف في أن ذلك الإلهام أسرع في العملية إلى حد كبير.

بعد ذلك، وهو ما يجب الإشارة إليه، صاغت التجارب نفسها ولم يبقَ سوى العمل الشاق: وضع موفق للأعمال.



أبى هارى كريك فى شبابه (مجموعة المؤلف)



أمى آن إلزابيث فى ١٩٣٨ (مجموعة المؤلف)



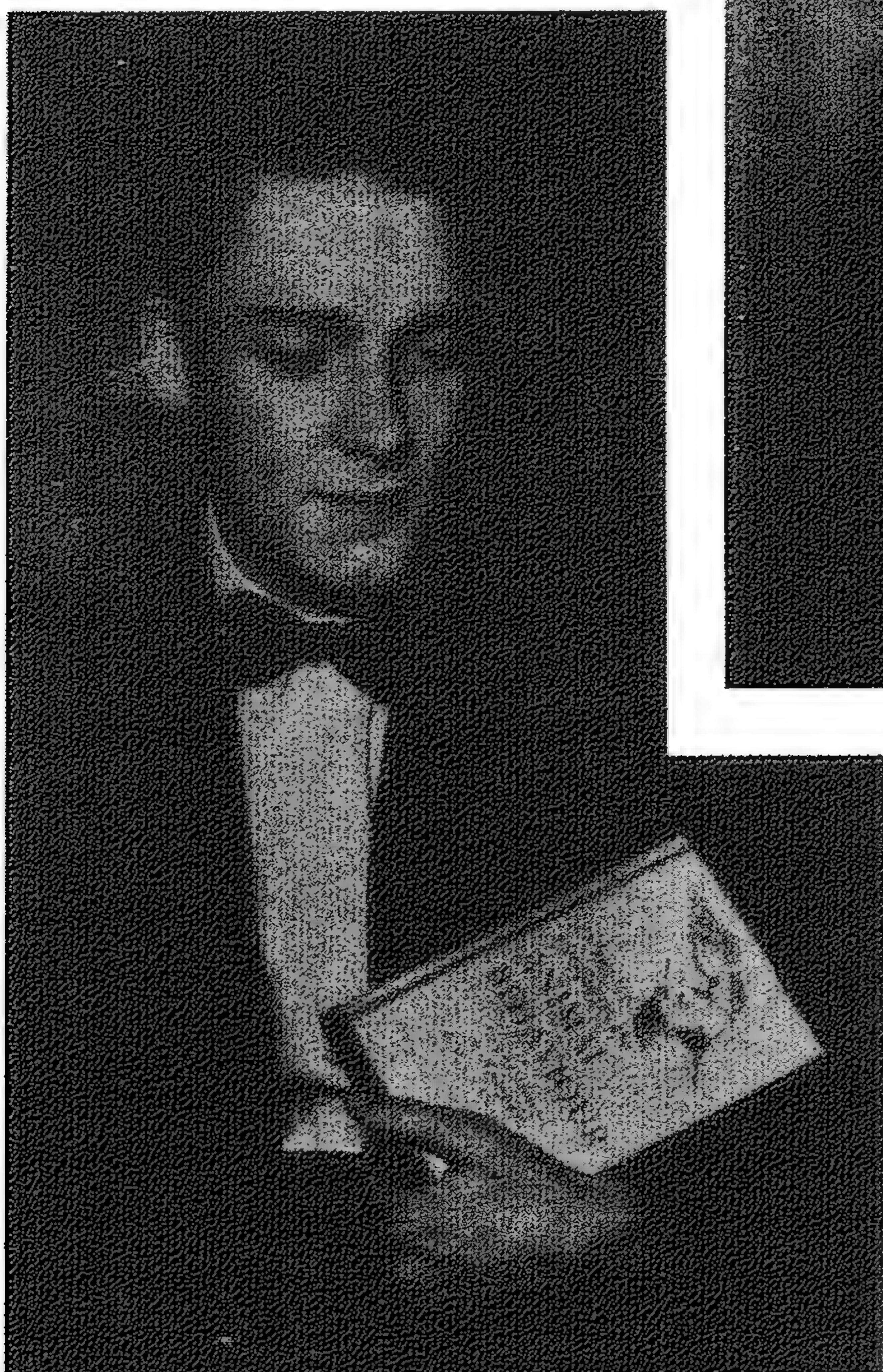
صورتى مع أخى الأصغر تونى
(مجموعة المؤلف)



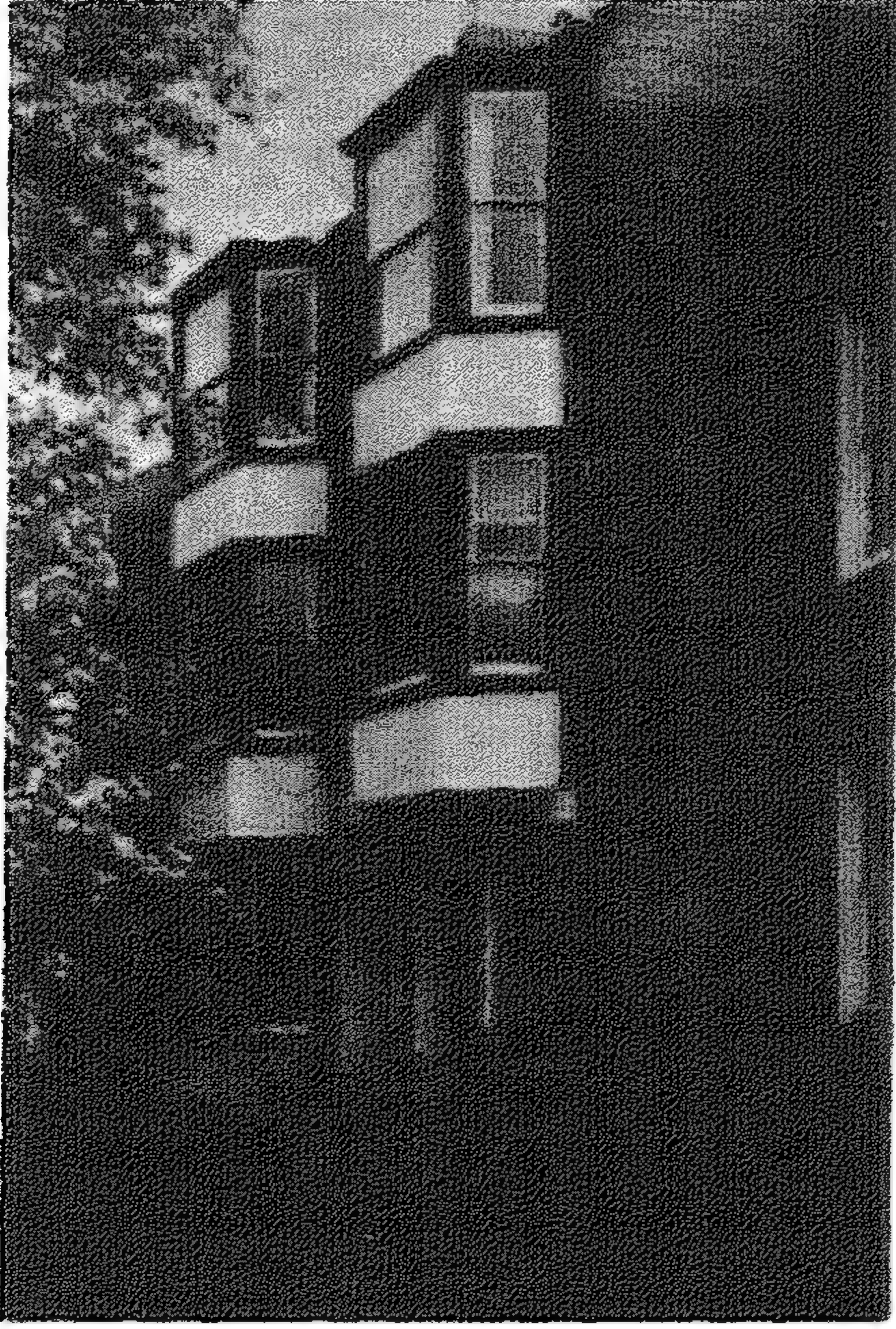
عمى آرثر كريك ، الذى ساعدنى مـاليا
(مجموعة المؤلف)



أوديل خلال الحرب الثانية ، قبل
التقائنا مباشرة
(مجموعة المؤلف)

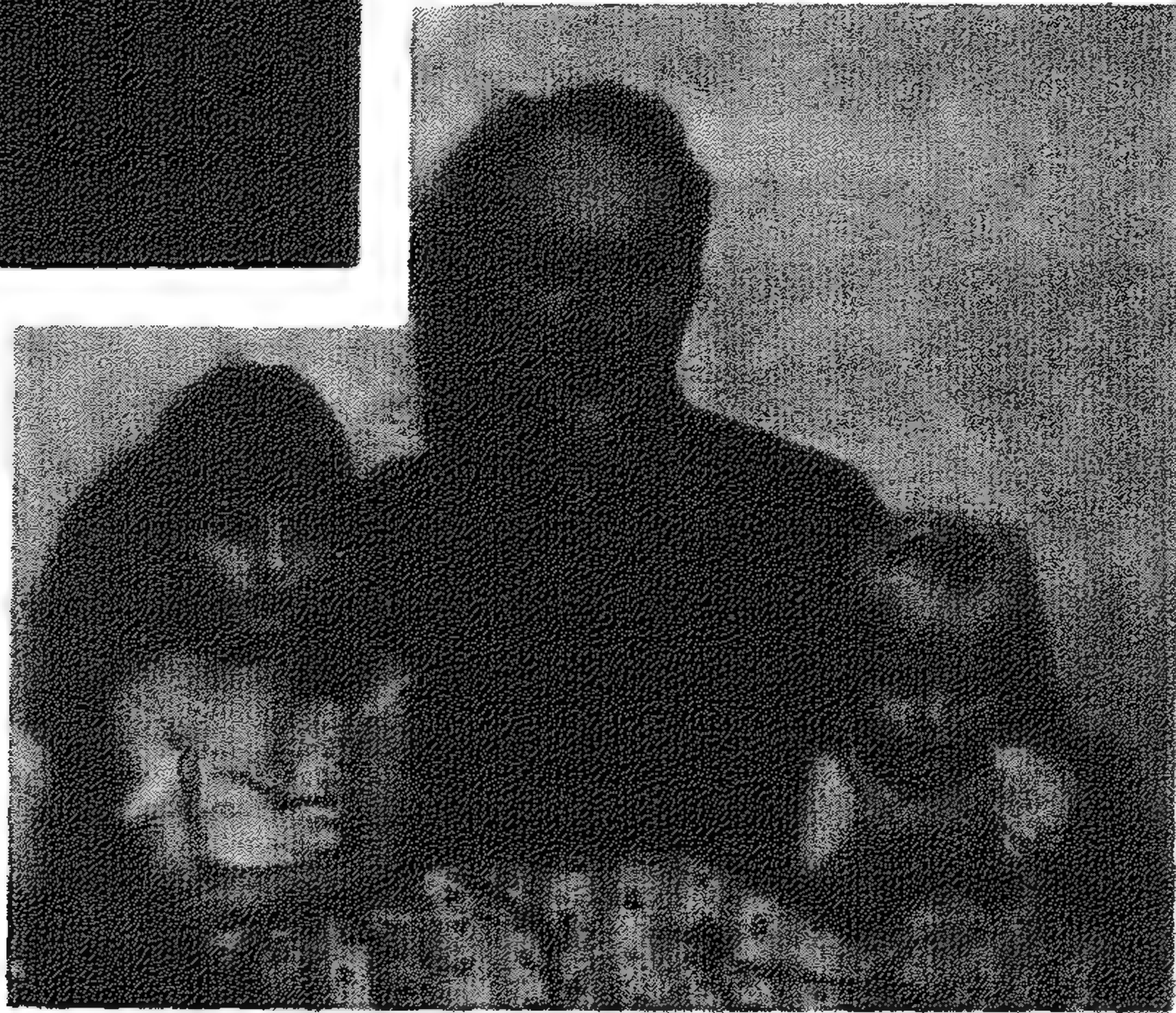


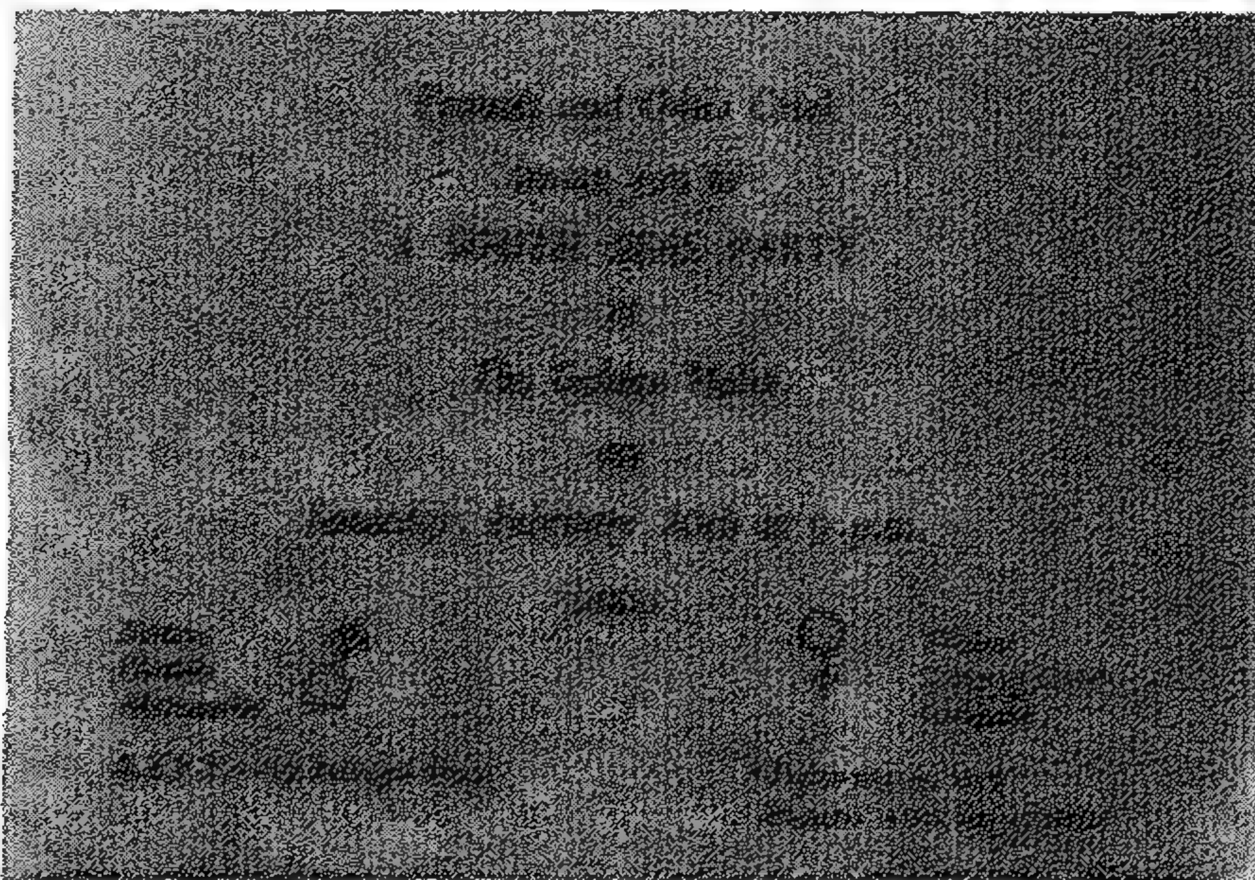
ابنى مايكل فى ستكهولم ١٩٦٢
(مجموعة المؤلف)



منزلنا "اللولب الذهبى" ١٩ – ٢٠
بورتوجال بالاس ، كمبريدج
(مجموعة المؤلف)

صورتى مع ابنتينا جابريل (إلى اليسار)
وجاكلين ، تم التقاطها نحو عام ١٩٥٦
(مجموعة المؤلف)





دعوة لإحدى حفلاتنا ، ١٩٦٠
(مجموعة المؤلف)



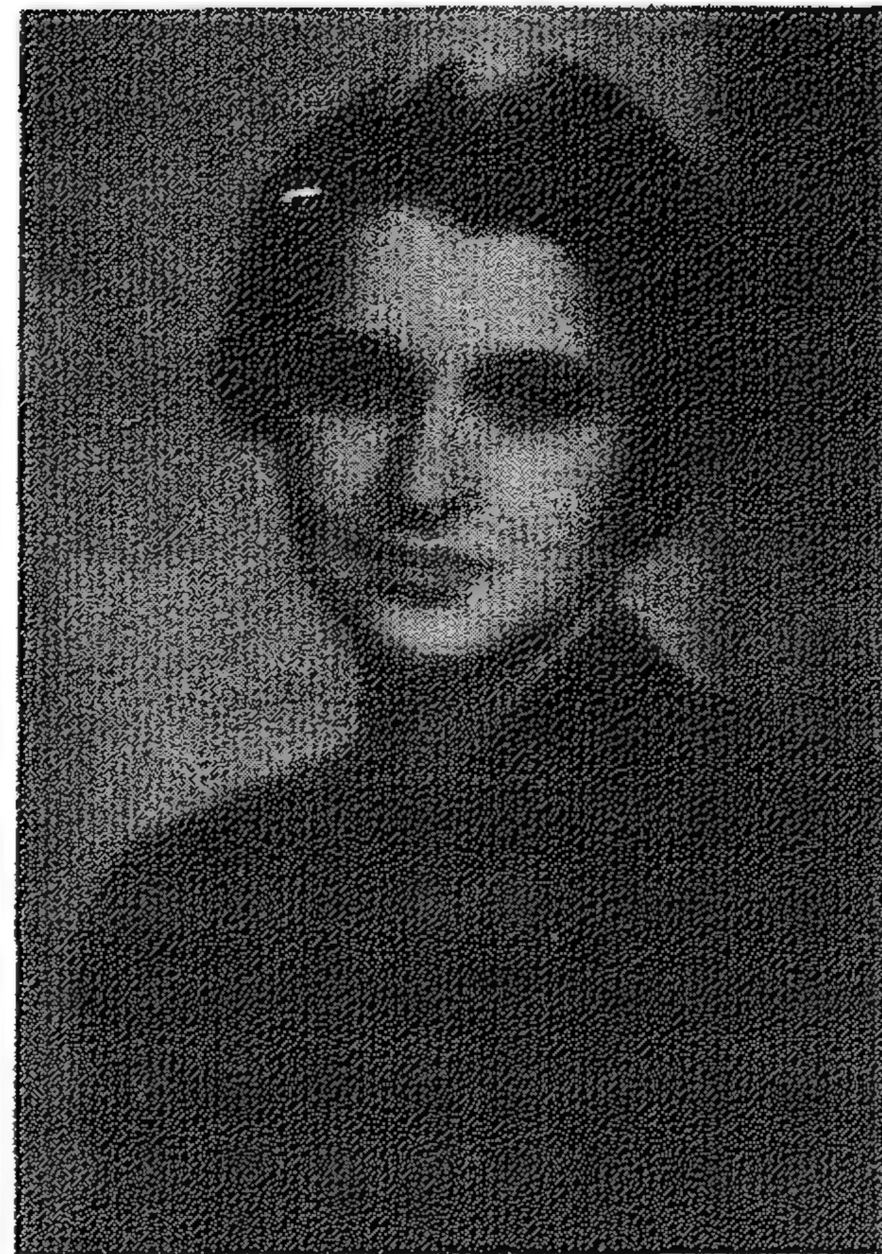
جيم واطسون (إلى اليسار) معى أمام
نموذجنا البرهانى للولب الدنا المزدوج ،
صيف١٩٥٣ (من كتب جى. دى. واطسون
"اللولب المزدوج" نيويورك ١٩٦٨)

جيم واطسون ، كما ظهر فى عدد "فوجى"
أغسطس ١٩٥٤ "بسمات شاعر بريطانى
مرتبك" (بإذن من ديانا إدكين)

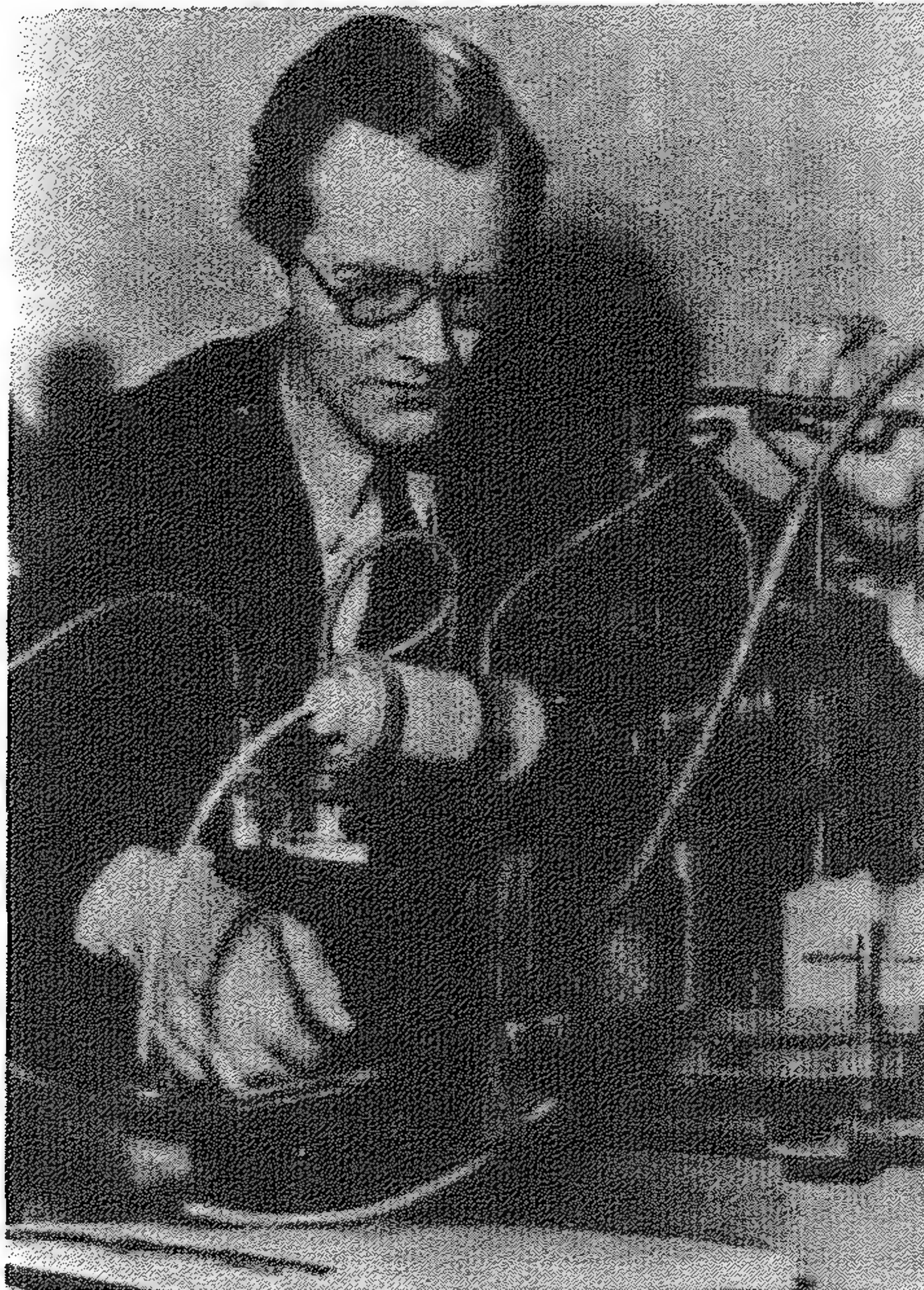




صورتى فى ١٩٥٦ ربطة العنق
الغربية هى تلك الخاصة بنادى الرنا
(بإذن من فرانسيس ديجينارو وولده
بالتيمور ، ميريلاند)



صورة ستوديو لروزالين فرانكلين ، تم التقاطها وهى فى نحو السادسة والعشرين من عمرها (بإذن من جينيفير جلين ، كمبريدج)



موريس ويلكنز نحو ١٩٥٥ (بإذن من موريس ويلكتر)

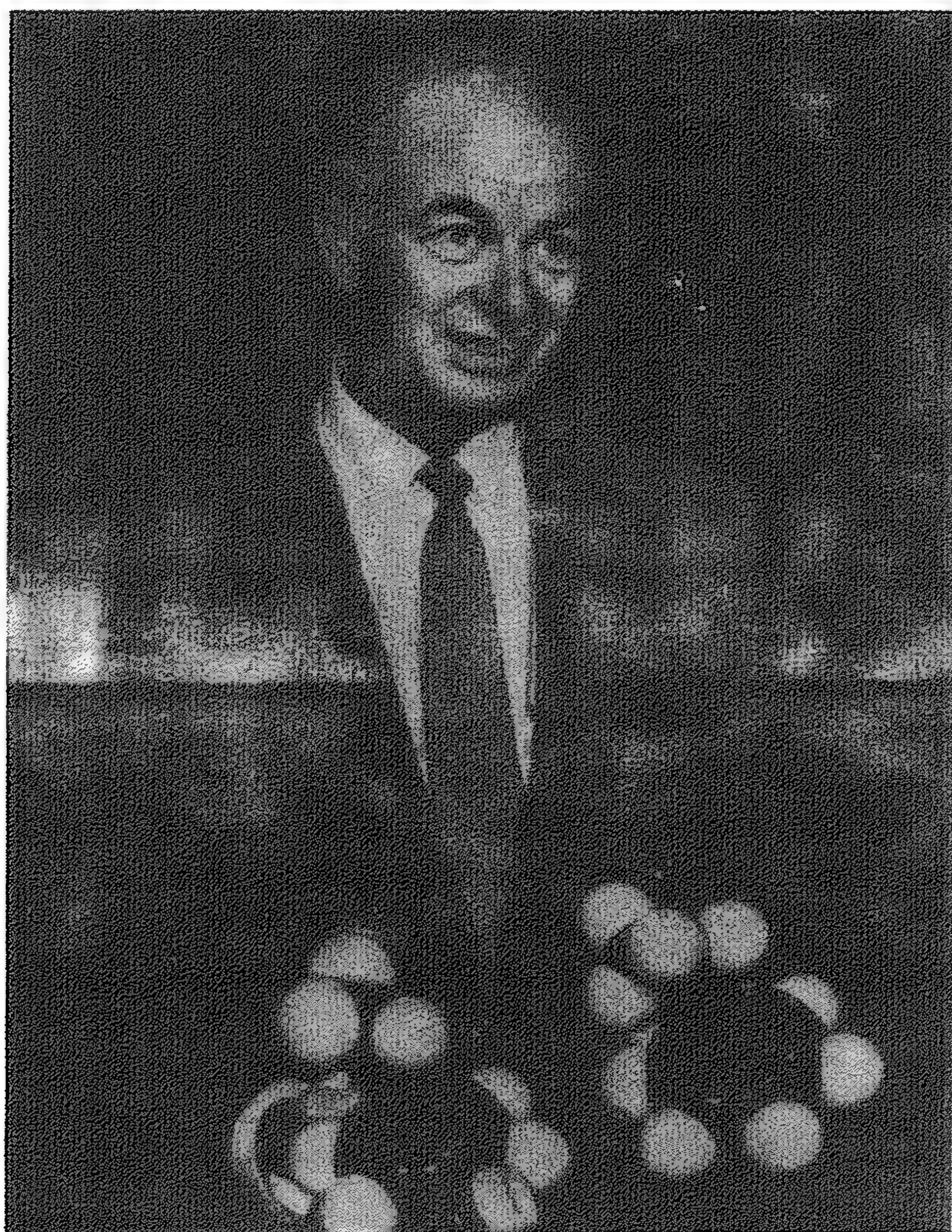


جى. دى. بيرنال، المعروف لأصدقائه باسم "ساج" (بإذن من الجمعية الملكية ، لندن)



سير لورانس براج – ويلى بالنسبة لأقرب أصدقائه. (بإذن من الجمعية الملكية، لندن)

لينوس بولنج فى الخمسينيات، وهو يمسك بنموذجين جزيئين (بإذن من أرشيف معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا)





ماكس ديلبريك خلال حديث فى يونيو ١٩٥٩
(بإذن من أرشيف معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا)



لقاء فى نادى رباط عنق الرنا (من اليسار أنا ، أليكس ريتش، ليسلى أورجيل، جيم واطسون) (بإذن من أليكس ريتش، كمبريدج. مساتشوستس)



ماكس بيروتز (إلى اليمين) يسلم مختبر البيولوجيا الجزيئية التابع لمجلس الأبحاث الطبية إلى سيدنى برينير فى ١٩٧٩ (مجموعة المؤلف)



موريس ويلكتر، وماكس بيروتز، وأنا، وجون شتينباك، وجيم واطسون، وجون كيندرو خلال الاحتفال بتسليم جائزة نوبل ١٩٦٢ (بإذن من سفينسكت بريسفوتو، ستوكهولم)



الملك جوستاف السادس ملك السويد مع أوديل على مأدبة نوبل فى ١٩٦٢ (بإذن من سفيسكت بريسفوتو، ستوكهولم)



صورة لى وأنا أرقص مع ابنتى الكبرى جابريل خلال الاحتفال باستلام جائزة نوبل ١٩٦٢ (بإذن من إنترناشونال ماجيزين سيرفيس، ستوكهولم)

الفصل الثانى عشر

ثلاثيات

رغم إدراكنا بوضوح أنا وسيدنى أن الشفرة الوراثية مشكلة تخص الكيمياء الحيوية، كان الأمل لايزال يراودنا فى أن تسهم الطرق الوراثية فى الحل، خاصة أن الطرق الوراثية، باستخدام المادة الملائمة، يمكن أن تكون أسرع، بينما طرق الكيمياء الحيوية تكون غالبا أبطأ نسبيا. استخدم سيمور بينزير طرقا وراثية للبرهنة على أن المادة الوراثية بلا شك تقريبا ذات بعد واحد. كان الموضوع مستلهما من اللولب المزدوج للدنا، لكن الطريقة المستخدمة فيه كانت مبتكرة تماما.

لرسم خريطة جين بشكل دقيق جدا، من الضرورى بالأحرى التعرف على مفردات الجينات النادرة. كلما كان طافران فى الجين أقرب إلى بعضهما البعض، تزداد ندرة تأثير إعادة التوحيد الجينية بينهما. اختار بينزير نظاما له ميزتان. كانت الجينات المعنية فى ملتهم البكتيريا تى ٤، وهو فيروس يهاجم ويقتل خلايا إى. كولاى. وينمو الفيروس سريعا، ويتم تجميعه بمعدل مرتفع. واختار جينا يطلق عليه آر ١١ – وهو واقعيا زوج من الجينات كل منهما يتلو الآخر– لأن له ميزة تقنية لافتة للنظر. وباستخدام نوعين من الخلية المضيفة، كان ممكنا التعرف على فيروس واحد له جين من النوع الشاذ حتى لو تم مزجه بملايين من الفيروسات ذات الطفرة. وهكذا يمكن رصد جينات تم تجميعها نادرة تماما، وكانت من الندرة لدرجة أن بينزير ظن أنه حتى أزواج القاعدة المتجاورة على الدنا يمكن فصلها. لسوء الحظ لم تكن هناك طريقة مشابهة للتعرف على طفرة بين كمية ضخمة جدا من النوع الشاذ، ولكن، فى المضيف الملائم بدت البقعة – وهى مستعمرة صغيرة تكونت عن طريق نمو جرثومة فى شاش إى. كولاى فى صحيفة بترى – مختلفة، وكان من السهل تمييزها. يمكن بسهولة نسبية رصد بقعة واحدة فيها طفرة فى صحيفة بترى مع عدة مئات من بقع النوع الشاذ.

كان على الطريقة التقليدية فى رسم خريطة الجين رصد سلسلة من الطفرات المميزة، ثم تحديد فترة إعادة تجميع أى زوج منها. وكان من الممكن أيضا اللجوء إلى طرق أكثر تطورا تستخدم ثلاث طفرات، لكن كل تلك الطرق تتضمن إحصاء مئات وآلاف من البقع، وهو أمر كان مجهداً جدا.

بحث بينزير عن طريقة أفضل، وكان دائما ممن يتجنبون العمل غير الضرورى، وجد أن بعض طافراته، مثلها مثل الطفرات الموضعية، تبدو مشطوبات deletion ، وتظهر مرسومة كخطوط على خارطته الوراثية؛ حيث إنها تبدو متداخلة مع اثنين على الأقل من الطفرات الموضعية. بذلك أصبح فى قدرته جمع كل سلاسل المشطوبات. إذا تداخلت سلسلتى مشطوبات لن تعيد عملية التجميع الجينية النوع الشاذ السليم؛ حيث إن البروتين المتداخل لم يكن لدى أى من الأصلين لذلك لا يمكن استعادته. من ناحية أخرى، إذا لم تتداخل السلسلتين المشطوبتين، يمكن لإعادة تجميع سليمة أن تعيد النوع الشاذ.

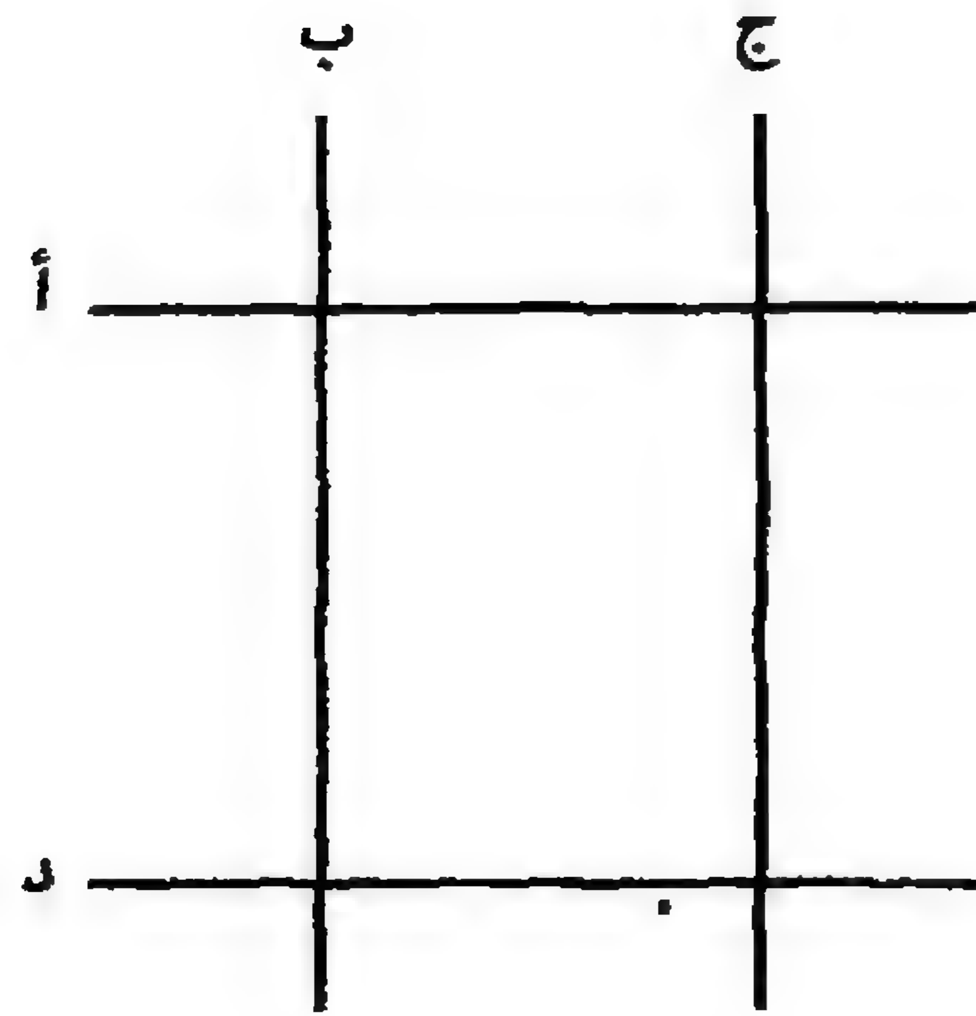
قد يساعد عمل تناظر ما فى جعل ذلك الأمر أكثر وضوحا. تخيل نسختين من كتاب فيهما عيوب: إحداهما ينقصها الصفحات من ١٠٠ إلى ١٢٠ ، والأخرى الصفحات من ٢٠٠ إلى ٢١٥ . بالطبع من الواضح أنه يمكن استعادة نص الكتاب كاملا بالاستعانة بالنسختين، كلا بمفردها. ومن ناحية أخرى، إذا كان الكتاب الثانى، بدلا من فقده الصفحات من ٢٠٠ إلى ٢١٥ ، ينقصه الصفحات من ١١٠ إلى ١٢٥ ، لن تكون هناك طريقة حينئذ للحصول على الصفحات من ١١٠ إلى ١٢٠ ؛ حيث إنها ناقصة فى كلا النسختين.

ولجعل التناظر أكثر اقترابا علينا أن نمده قليلا. تخيل أن الكتاب يحتوى على تعليمات تفصيلية لعمل جهاز معقد. افترض أيضا أنه إذا فقدت ورقة واحدة، إما أنه لا يمكن عمل أى جهاز، أو إذا تم ذلك، فإنه سيكون جهازا عديم القيمة. وأخيرا، افترض أن لدينا ملايين من النسخ من كل الكتب التى فيها عيوب. عندئذ تكون القاعدة: عليك أن تختار نسخة واحدة من كل نوع من الكتب. خذ عدد "ع" من صفحات كتاب واحد والصفحات الباقية من الكتاب الآخر. انظر هل ينتج هذا الكتاب الهجين جهازا يعمل؟ افعل ذلك ملايين المرات، ثم اختر صفحة نقطة – التحول (صفحة ع) بشكل عشوائى كل مرة. إذا تم إنتاج جهاز جيد بشكل عرضى، معنى ذلك أن الصفحتين المشطوبتين لم تتداخلا. وإذا لم يتم إنتاج جهاز جيد "أبدا"، فإنه من المحتمل أن الصفحتين المشطوبتين تداخلتا.

وقد تبدو تلك الطريقة طريقة معقدة لأداء تلك المهمة، لكن حيث إنه لم يكن في استطاعتنا رؤية ما هو داخل ملتهم الجراثيم كانت تلك هي الطريقة الوحيدة لدينا. وكان كل ما على بينزير فعله، حينئذ، أن يزاوج بين الفيروسين، بنقل عدواهما معا في وقت واحد إلى مزرعة إي. كولاي. وبعد نمو الفيروسين وإعادة تجميعهما داخل البكتيريا، أمكن جعلهما على هيئة بقع في صحيفة بترى المحتوية على نوع المضيف الخاص. إذا لم تتداخل المشطوبات، سيكون هناك بعض البقع التي أعيد تجميعها في الصفيحة. وإذا تداخلت، لن يكون هناك شيء من الصفائح، ولم تكن هناك حاجة إلى الإحصاء المجهد، وكل ما كان مطلوبا إجابة بسيطة بنعم أو لا.

حاول بينزير البرهنة على أنه لو كان الجين في البعدين فعليه حينئذ أن يعثر في نهاية الأمر على نمط ذي مشطوبات أربعة. الشطب أ يتداخل مع ب ومع ج، كذلك الأمر بالنسبة ل د. (انظر الشكل ١٢ – ١) من السهل إدراك أن ذلك لا يمكن حدوثه إذا كان الجين أحادي البعد. رصد بينزير مئات من المشطوبات ومزجها معا على هيئة أزواج. لم ينشأ الشكل الموضح بتاتا. من هنا، استنتج بينزير، احتمال أن يكون الجين أحادي البعد.

أتاحت له نتائجه أيضا وضع المشطوبات في مكانها الصحيح، فأصبح قادرا على أن يرى بشكل تقريبا موقع كل منها على خارطة الجين.



الشكل ١٢ – ١

يوضح الشكل أنه في البعدين يمكن أن يتقاطع أ مع كل من ب وج، ويتقاطع د أيضا مع ب وج، بدون أن يتقاطع أ مع د أو ب مع ج. وهذا مستحيل إذا كان أ، ب، ج، د قطع من خط مستقيم (أحادي البعد). وعندما لم يجد بينزير بتاتا هذا النمط في التقاطع بين مشطوباته الكثيرة، استنتج، بشكل صحيح، أن الجين الذي كان يدرسه كان أحادي البعد. كان ذلك قابلا للمقارنة لكونه مصنوعاً من الدنا.

ولعدة أسباب متنوعة، اختارت مجموعتنا نفس النظام للعمل به. وكان اهتمامنا الرئيسى ينصب على الأنواع المختلفة للطافرات mutants الناجمة عن المواد الكيماوية المختلفة وأيضا على الطفرات mutations المضادة التى تنتجها تلك المواد. بدت الطافرات قابلة تماماً للتقسيم إلى صنفين. تنتج أغلب المواد الكيماوية الصنف الأول. من ناحية أخرى تقع الطافرات الناتجة عن مواد كيماوية من نوع الأكريدين فى الصنف الآخر. كان من الممكن بسهولة كبيرة إعادة عكس كل صنف حسب نوع المطفر الذى يسببه. رأى إرنست فريس أن كل صنف يقابل تحولات transitions (بيورين إلى بيورين، أو بيريميدين إلى بيريميدين - انظر الملحق أ)، بينما يقابل الآخر انتقالات transversions ، كما كانت تسمى (بيورين إلى بيريميدين، أو العكس). أتتنا فكرة أخرى محاذية لما سبق. كانت بعض الطفرات مسربة - leaky أى، توضح أن الجين ناشط إلى حد ما، ولو أنه بالطبع غير ناشط بالكامل - بينما كانت الأخرى غير مسربة nonleaky أى، ليس لها أساسا أى نشاط. لاحظنا أن الطافرات الناتجة عن البروفلافين (أكريدين نموذجى) كانت بشكل دائم تقريبا غير مسربة. قادنا ذلك إلى القول بأن طافرات البروفلافين كانت مشطوبات أو زيادات على تتالى القاعدة، فى حين كل الصنف الآخر من الطافرات كان نوعا أو آخر من بدائل قاعدة. ومع ذلك، كان ينقصنا مزيد من الأدلة لتأكيد تلك الفكرة.

خلال ذلك الوقت توصلت إلى فكرة مختلفة تماما. مقلبا النظر حول كيف يمكن لجزىء رنا أن يعمل كرسالة، تساءلت ما إذا كان قادرا على إعادة الانطواء على نفسه، صانعا بذلك بنية لولب مزدوج غير محكمة. ودارت الفكرة حول أن بعض القواعد يمكنها الازدواج بينما الأخرى، التى لا تتآلف تبعا لقواعد الازدواج، قد تلتف حول نفسها.

وتعتمد "الشفرة" حينئذ إما على القواعد الملتفة حول نفسها أو غير المتزاوجة، أو بعض التجميعات الأخرى من الاحتمالين السابقين تكون أكثر إحكاما. وفى الحقيقة كانت الفكرة غامضة إلى حد ما، لكنها أدت إلى تخمين مهم. تكون الطفرة عند أحد أطراف الرسالة، نظريا، قابلة لأن يعوض عن تأثيرها بواسطة طفرة أخرى، فى اتجاه الطرف الآخر، الذى يتزاوج معها. بذلك يكون لبعض الطفرات "كوابح suppressors" بعيدة، كما أطلق عليها، فى نفس الجين.

أحببت فعلا تلك الفكرة، رغم أن غيرى لم يفكر فيها كثيرا. وحتى ذلك الوقت لم أكن قد أجريت بنفسى تجارب على ملتهم الجراثيم (الفاج)، مكتفيا بفحص النتائج التجريبية لزملائى، وحيث إن أحدا لم يكن متحمسا فى ما يبدو لاختبار فكرتى، قررت أن اختبرها بنفسى. لم يكن من الصعب تعلم كيفية إجراء اختبارات علم وراثة الفاج، خاصة مع توافر المساعدة قريبة منى. ورغم ذلك ارتكبت بعض الأخطاء الأولية، التى تم تصحيحها بسرعة لحسن الحظ. كشفت لى التجارب أيضا كيف كانت معلوماتى سطحية، رغم مشاركتى فى كثير من المناقشات حول هذا النظام بالذات. ولا يوجد ما يناظر إجراء التجارب بالجهد المطلوب ليجعل المرء مدركا لكل تفاصيل ودقائق التقنية، وهو ما يساعد أيضا على ترسيخ التفاصيل فى الذهن، خاصة أن قراءة قسم "المناهج التجريبية" فى أغلب الأبحاث العلمية أكثر إثارة للضجر من أى شىء عرفته تقريبا.

كان من الطبيعى أن يقع اختيارى على جينات آر١١ لأجرى عليها التجربة، مركزا على النوع الثانى، الذى يطلق عليه سيسترون ب. (كان سيسترون اسم تخيله بينزير لجين، تبعا لما يسمى اختبار سيس – ترانس).

اخترت طافرا من مخزوننا، حاولت العثور على مرتد revertant يكون أقرب شبها بالنوع الشاذ – ثم فحصته لمعرفة ما إذا كان ذلك الارتداد عائداً إلى طفرة ثانية فى مكان آخر فى نفس الجين، فإذا لم أستطع العثور عليه أواصل العمل ، وأجرى محاولة ثانية مستخدما طافرا آخر.

فى البداية لم أستطع العثور على أية كوابح. ربما كان التغيير الذى رد الطافر إلى النوع الشاذ كان عند، أو قريب جدا من، التغير الأصلى، قريب تماما لدرجة أننى لم أتعرف عليه. جاء ليسلى أورجيل يوما لتناول القهوة. وكان يقلب الأمر معي فأبلغته بما كنت أفعل ، وأننى حتى ذلك الوقت لم أكن قد توصلت إلى أية نتائج. تركنى لينضم إلى الآخرين فى الوقت الذى سجلت فيه بسرعة الصفائح المتبقية، ولبهجتى وجدت أن لدى كابحًا مرشحًا لما أريد.

وقبل مرور وقت طويل كان لدىّ ثلاث طفرات بالكوابح، ولحسن الحظ كانت موزعة عبر الخارطة. عزلت الكوابح، وواصلت توقيعها على الخارطة. تم دحض نظريتى فورا، بدلا من أن يكون كل قامع موقّع فى مكانه الذى سبق التنبؤ به، أى متباعدا بعض

الشيء على الخارطة، كان لكل من الطفرات قامعها القريب منها تماما. لابد إذن أن أثر القمع عائد إلى بعض الأسباب الأخرى.

لم أكن أعلم أن بعض الأشخاص الآخرين لاحظوا أيضا أن طافرا في آر١١ يمكن أن يكون له قامع في نفس الجين. وقد يكون أكثر الأمثلة إثارة ما حدث في كال تيك. كان لدى ديك فينمان، عالم الفيزياء النظرى، ما يكفى من الاهتمام بتلك المشاكل الوراثية حتى إنه قرر إجراء بعض التجارب بنفسه. عثر بالمصادفة على مثال لقامع داخلي. ولعدم معرفته بما يعنيه ذلك، سأل مستشاره، ماكس ديلبروك. رأى ماكس أن الطافر الأصلى أنتج حامضا أمينيا متغيرا، وأن الطافر الثانى غيَّر حامضا أمينيا آخر، في مكان آخر في البروتين، الذى عادل بطريقة ما التغير الأول. كان من السهل إدراك أن هذا ما حدث، لكن لم يكن أحدا يتوقع أن يكون شائعا جدا إلى هذه الدرجة.

كنت بالتأكيد منتبها لذلك الاحتمال، لكنني لم أكن مغتبطا به جزئيا؛ لأنه كانت لدى معرفة تفصيلية بالقليل جدا الذى كان معروفا حينئذ حول بنية البروتين. قررت محاولة معرفة كم عدد القامعات المختلفة التى قد تكون في طافر ما. كان علىّ أن أختار واحدا من الطافرات الثلاثة لدى لدراستها بشكل مستفيض، وبشكل معقول اخترت ذلك الذى كان قامعه الأكثر قربا من الطافر الأصلى، آملا أن يتيح لى ذلك مجالا أكثر اتساعا. ولاحظت أيضا أن طافرين من طافراتى الثلاثة تم إنتاجها بواسطة البروفلافين. كان يصعب أن يكون لما حدث مغزى إحصائى مهم، بأى معيار، ومع ذلك بدا لى موحيا.

في ذلك الحين كانت خبرتى أقل مما يجب، من هنا تمت التجارب بسرعة إلى حد ما. يمتاز علم وراثة الفاج بأن تجاربه أسرع إلى حد ما، بمجرد إعداد كل المطلوب. لا يحتاج المرء وقتا طويلا للحصول على مئات التهجينات؛ حيث إن المعالجات سهلة، ويستغرق التهجين فعلا نحو عشرين دقيقة، وهى الفترة التى يحتاجها الفاج لإصابة البكتريا للتكاثر داخلها (متبادلا المادة الوراثية في العملية)، ثم ينفجر مفتوحا، وبذلك يقتل الخلية. بعد ذلك يجب وضع التهجينات الناتجة على شرائح في صحون بترى، حيث يتم إضافة فيلم رقيق من البكتريا إليها، ثم تتم حضانة الصحائف، لإنتاج مزرعة البكتريا، وحيث يوضع فاج واحد ويصيب الخلية بالعدوى، تنمو مستعمرة من الفاج، تقتل البكتريا المحلية خلال نمو الفاج، وتكون فجوة صغيرة واضحة (يطلق عليه بقعة

أو صفيحة) فى مزرعة البكتريا النامية على سطح الشريحة. تحتاج هذه العملية إلى بضع ساعات، لذلك يكون لدى المرء فترة راحة قصيرة خلال استمرار العملية، ثم يتم رفع صحون بترى من الحضانة التى تصل حرارتها إلى ٣٧ درجة مئوية وفحصها لمعرفة ما إذا كان فيها صفائح أو لا، ثم معرفة نوعها. يتم "التقاط" الصفائح المثيرة للاهتمام، ثم التقاط قليل من الفاج بقطعة صغيرة من الورق أو بعود أسنان، ومع مزيد من النمو، تتم إعادة العملية للتأكد من أن مخزون الفاج من النوع النقى. إذا بذل المرء ما يكفى من الجهد من الممكن إتمام مجموعة إضافية من الحضانات فى يوم واحد، وإعداد مجموعة أخرى جديدة لليوم التالى.

ولما كانت التجارب تثير مزيدا من الاهتمام توصلت إلى أنه، بتخطيط دقيق، يمكننى إنجاز مجموعتين متتابعتين من الحضانات فى يوم واحد. كان يلزم لذلك البدء دون إبطاء فى الصباح، العودة إلى المنزل للغداء، مزيد من التجارب مساء، العشاء فى المنزل، ثم مجموعة أخيرة بعد تناول العشاء. ومن حسن الحظ أننى كنت أعيش وأوديل فى مكان على بعد دقائق من المختبر، سيرا سهلا على الأقدام عبر مركز كمبريدج التاريخى، لذلك لم أجد العمل بغيضا.

بل إن أوديل قالت لى إنها لم ترنى أبدا فى حالة من البهجة مثل حالتى خلال الفترة التى كنت أجرى فيها التجارب طوال الوقت، لكن ذلك قد يكون حدث جزئيا؛ لأن كل التجارب، خلال الأسابيع القريبة من نهاية العمل، كانت تبدو على درجة عالية من الكمال.

ما أسرع ما وجدت أن طافرى الأولى لم يكن له كابح واحد فقط، ولكن كثيرا من الكوابح المميزة تم رصدها جميعا على الخريطة قريبة إلى حد كبير من الطافر الأصلى. قررت أن أطلق عليها جميعا اسما مميزا. كنت أعمل فى أغلب الأحوال فى العطلة الأسبوعية، مع يوم الاثنين عطلة حتى يمكن الحصول على خدمة مطبخنا المختبرى (الذى كان يقدم كل عمليات الغسيل وتجهيز صحون بترى لنستخدمها). وكان يوم عطلة عندما احتجت إلى اسم جديد، ولم يكن أحد بالقرب منى. كانت الطافرات تسمى عادة بحرف، يتلوه رقم؛ فكان بى ٣١ تعنى أول طافر بعد الثلاثين فى سلاسل بى، المنتج، مثلا، بواسطة بروفلافين. ولسوء الحظ لم أتذكر بشكل مؤكد الحروف التى تم

استخدامها حتى ذلك الحين، لذلك قررت إعادة تسمية طافرى إف.سى. أو، حيث كنت متأكد تماما أن أحدا لم يستخدم الأحرف الأولى من اسمى لتسمية طافرات. ومن ثم سميت القامعات إف.سى ١، إف. سى٢، ... إلخ. ظن بعض الناس أن استخدامى الأحرف الأولى من اسمى دليل على غرورى، لكن التفسير الحقيقى أن لدى بالأحرى ذاكرة تتعرض للخطأ.

بدت القامعات الجديدة مشابهة للطافرات الجيدة غير الراشحة. إذا كان الأمر كذلك، فلما، كما فكرت، لا أبحث ما إذا كان لها أيضا قامعات؟ وفى الحقيقة كان لها، حتى إننى خطوت خطوة أبعد، ووجدت قامعات لقامعات القامعات.

ماذا كان يحدث إذن؟ لحسن الحظ أن الأفكار السليمة كانت متوافرة لدينا فى ذلك الحين. افترض أن الرسالة الجينية تمت قراءتها (لإنتاج بروتين) فى خطوات كل منها ثلاث قواعد فى نفس الوقت، بداية من نقطة محددة فى الرسالة. ولمزيد من التوضيح، دعنا نلقى نظرة على رسالة بالغة البساطة تتمثل فى مجرد تكرار ث أ ج مرة بعد مرة:

..... ث أ ج، ث أ ج، ث أ ج، ث أ ج، ث أ ج، ث أ ج، ......

تشير النقاط إلى وجود رسالة قبل وبعد التتالى. وتمت إضافة الفاصلة لتوضيح بأى "صورة" يجب قراءة التتالى. افترضت أن هذه الصورة تتحدد بواسطة إشارة "بدء" خاصة، فى مكان ما على يسار(*) المقطع الموضح.

افترض أن طافرنا الأصلى (المسمى الآن إف. سى. أو) أضاف قاعدة إلى تتالى القواعد. حينئذ، من الآن فصاعدا، تكون القراءة خارج الخطوات (خارج الصورة) وبالتالى ينتج بروتينا لا معنى له، بروتينا يكون تتالى أحماضه الأمينية، تبعا للطافر، خاطئة تماما؛ لذلك لن يكون لما ينتجه الجين أية وظيفة.

وقد يصبح تتالينا البسيط كما يلى:

.... ث أ ج، ث س+ أ، ج ث أ، ج ث أ، ج ث أ، ج ث أ، ج ث أ ....

صحيح ← → غير صحيح ←

(*) (اليمين للقراءة بالعربية _المترجم)

(فى الشكل القاعدة التى تمت إضافتها، وهى هنا، للتوضيح القاعدة س، لكنها قد تكون أى من القواعد الأربع) .

وهنا، بالنسبة لهذا التمثيل، يعتبر الكابح، مثل إف.سى. ١، مشطوب أحد القواعد فى موقع قريب. بين إف.سى. أو. وإف.سى. ١. قد تكون الرسالة مازالت غير صحيحة، حيث تمت قراءتها بالصورة الخاطئة، لكن فى مكان آخر قد تكون القراءة عادية.

وهكذا يصبح مثالنا كما يلى:

.... ث أ ج ، ث سٌ أ ، ج ث أ ، ج ث أ ج ، ث أ ج ، ث أ ج ، ......

أى ... ث أ ج ، ث سٌ أ ، ج ث أ ، ج ث ج ، ث أ ج ، ث أ ج ، ....

صحيح ← → غير صحيح ← → صحيح

إذا لم تكن الكسرة المعدلة من الحامض الأمينى عليها علامة + (وفى تلك الحالة كان يتوافر دليل آخر لاقتراح ذلك)، عندئذ سيظل البروتين قائما بوظائفه كما يجب، ويسلك الطافر المزدوج (إف. سى. أو + إف. سى. ١) بتشابه كبير مع النوع الشاذ أكثر من كونه طافر غير راشح.

من هنا ميزت كل المجموعة الأولى من الكوابح بعلامة – وميزنا المجموعة الثانية، قامعات المجموعة الأولى من الكوابح بعلامة + ثم كوابحها بعلامة –

بدأت تلك التجارب مبكرا فى مايو وتم تطويرها عندئذ مع الصيف. وكنت قد نظمت أمورى سابقا لأصحب أسرتى فى إجازة صيف، كانت تقريبا أول إجازة كاملة نحصل عليها حتى ذلك الحين؛ حيث إن موقفى المالى عندئذ كان أفضل قليلا. استأجرنا، بمبلغ قليل جدا، فيلا واسعة على الجبل المعروف فى طنجة، مدينة فى شمال أفريقيا، مقابلة بالضبط لجبل طارق. هناك عشنا فى أبهة، تسكن معنا خادمة، وتأتى أخرى كل يوم. واكتسبت أوديل والفتاة الألمانية التى تقيم معنا لتعلم الإنجليزية، إلينورا، خبرة شراء الطعام من السوق العربى، المساومة، التنزه، وهلم جرا. وحسنت ابنتانا من قدرتهما على السباحة على الشاطئ فى الوقت الذى كنت أقضى فيه اليوم فى الشرفة العالية، تحت الظل المتقطع للنخيل.

فى الطريق إلى طنجة شاركت فى لقاء علمي. حتى فى تلك الأيام كان العلماء كارهين لحضور لقاء إلا إذا كان فى مكان جذاب. كان اللقاء فى كول دى فوز على نصف المسافة إلى مونت بلانك. قدمت نتائجى الأولية، التى كانت قد نشرت أخيرا، كتبادل للأفكار ملخص جدا يتعلق باللقاء.

بعد شهر فى طنجة غادرت إلى مؤتمر الكيمياء الحيوية ١٩٦١ فى موسكو، تاركا عائلتى مقيمة فى الفيلا لأسبوع آخر أو نحو أسبوع. كانت موسكو حينئذ مختلفة تماما عنها فى زيارتى الأولى لها فى ١٩٤٥ ، خلال الحرب. كان الوقت صيفا، وليس قلب الشتاء، وكان كل شيء أكثر تألقا وأكثر ازدهارا مقارنة بالأيام الكئيبة فى وقت الحرب. أقمت فى غرفة طلبة فى الجامعة؛ حيث تم عقد اللقاء، وتعرفت على عدد من مضيفينا الروس. كان الشخص المهيمن إيجور تام، عالم الفيزياء الروسى. كان تأثير ليسينكو، الرجل الذى قضى، لفترة من الزمن، على الوراثة فى الاتحاد السوفياتى، آخذا فى التلاشى بدرجة كبيرة جدا. شعرت أن خسوفه عائد بدرجة كبيرة إلى نشاط علماء الفيزياء أمثال تام الذين كان لهم تأثير سياسى ضخم، والذين يمكنهم معرفة الهراء العلمى عندما يقابلهم. تم دعوة عدد منا لإلقاء محاضرات فى القسم البيولوجى فى مؤسسة أبحاث الطاقة الذرية الروسية، وهو ما كان يستبعد حدوثه قبل سنوات قليلة. وألقينا كلماتنا بالإنجليزية، لكن تم ترجمتها بشكل رائع (باستفاضة، كلما تقدمنا فى الموضوع) بواسطة بريسلير، العالم الروسى الذى قابلناه من قبل عندما زار كمبريدج. لم يفهم بريسلير فقط ما كنا نقوله، لكنه فى بعض الحالات، كما بدا لى وأنا أستمع إليه، استوفى أيضا "الإحالات" التى قدمها المتكلمون، كان أداء رائعا حقا.

كان لقاء موسكو مثيرا بشكل خاص بسبب النتائج التى قدمها مارشال نيرينبيرج، وكانت مجهولة تقريبا فى ذلك الحين. وكنت قد سمعت إشاعات حول تلك التجارب، لكنى لم أعرف التفاصيل. نبهنى مات ميسيلسون، الذى التقيت به صدفة فى الدهليز، إلى كلمة مارشال فى حجرة منعزلة للحلقات الدراسية. تكوّن لدى انطباع قوى جعلنى أدعو مارشال إلى المشاركة فى لقاء أوسع بكثير، كنت رئيسا له. تمثل اكتشافه فى أنه يمكنه إضافة رسالة اصطناعية إلى منظومة فى أنبوب اختبار تركب البروتينات، وتتيح له توجيه بعض عمليات التركيب. وبالتفصيل، أضاف بولى ى رسالة الرنا التى

تتكون كلية من تتالى يوراسيل _إلى المنظومة التى ركبت بوليفينيلالانين. ويوضح ذلك أن ى ى ى (باعتبارها شفرة ثلاثية) كانت كودونا لفينيلالانين (أحد الأحماض الأمينية "السحرية العشرين")، وهو ما كان عليه الأمر فعلا. وأشرت لاحقا إلى أن جمهور اللقاء "أجفل" (أظن أننى كتبت فى الأصل "تكهرب") عندما تلقى تلك الأنباء. واجه سيمور بينزير ذلك بصورة فوتوغرافية بدا فيها الجميع ضجرين تماما! ومع ذلك كان اكتشاف مهم جدا يعتبر مطلع عهد جديد، لم يعد هناك بعده حاجة للالتفات إلى الوراء.

توافر أيضا قدر من الحياة الاجتماعية خلال الأسبوع الذى قضيته فى موسكو. تمتعت بزيارة شقة على الطراز القديم، بالأثاث الثقيل وفراش خلف مكتبة كبيرة. وبأخرى أكثر حداثة، ذات طابع أكثر بهجة. كان المالك ممن يجمعون الفن الروسى الحديث. وتسليت عندما رأيت أليكس ريتش يقدم رقصة أمريكية جديدة غريبة لمضيفينا، رقصة عرفت بعد ذلك أنها تسمى تويست. ولما كان خصر أليكس غير معبر بدرجة كافية، كانت رقصة التويست، التى قدمها، لا ترقى إلى حد ما إلى الانسياب الحر.

عدت إلى كمبريدج. كانت الخطوة التالية أن أجرى المزيد من التجارب للتأكد من الأفكار حول وجود بعض المعنى فى تمييز كل من طافراتنا الجديدة آر١١ بإحدى العلامتين + أو − . كانت النظرية تخمن أن أى تجميع من النوع (+ +) أو (− −) سيكون طافرا. وأعددت أنا وزملائى عددا كبيرا من مثل تلك الأزواج، وكانت جميعها طافرات غير راشحة، كما تنبأنا. وتنبأت النظرية البسيطة أيضا بأن "أى" تجميع من النوع (+ −) سيكون نوعا شاذا، أو ما يقترب من ذلك. بالطبع كنا نعلم أن ذلك صحيح فى بعض الحالات؛ حيث كانت تلك الطريقة التى رصدنا بها القامعات بالدرجة الأولى، لكن كثيرا من التجميعات الأخرى (بين + و −) لم يتم اختبارها أبدا. وأطلقنا عليها (الأعمام والعمات)؛ حيث إن الحصول عليها كان يتم فى أغلب الأحوال بالجمع بين طافر من جيل مع طافر من جيل سابق، ولكن من أحد الطافرات التى لم تكن من أسلافها. طلبت من سيدنى أن ينظر ما إذا كان بعضها قد تمت تجربته خلال غيابى لكنه كان لديه أفكار أخرى، لذلك كان لابد أن أجريها بنفسى لدى عودتى.

عند ذلك ظهرت عقدة بسيطة. بعض من تجميعات (+ −)، التى تم التنبؤ بأنها من النوع الشاذ، تبين أنها طافر.

فسرنا ذلك بأنه في بعض الحالات ينتج تغير صغير في الحالة المحلية بين + و – طافر "لا معنى له". نعرف الآن أن تلك المواقع التى لا معنى لها تعود إلى ثلاثية تنهى سلسلة عديد الببتيد، منتجة في تلك الحالة شظية بروتين لا وظيفة لها. وأدركت أيضا أن ذلك يعتمد على الحالة الدقيقة لقراءة الشفرة. بالنسبة لشفرة الثلاثية غير المتداخلة توجد حالة واحدة صحيحة ، لكن توجد حالتين غير صحيحتين، لذلك فإن التجميع (+ –)، أى، + يتبعها –، ستكون مختلفة محليا عن تجميع (– +).

بالعودة إلى مثالنا البسيط، قد يكون التجميع (+ –):

.... ث أ ج ،ث سَ+ أ،ج ث أ،ج ث أ،ج ث جَ-، ث أ ج، ......

صحيح ←→ غير صحيح ←→ صحيح

وتجميع (– +):

.... ث أ ج ،ث جَ- ث،أج ث،أج ث،أج سَ+، ث أج ، ......

صحيح ←→ غير صحيح ←→ صحيح

يوجد في التتالى الأول ج ث أ بين التعديلين، وفي الثانى أ ج ث. أوضحنا أن إخفاق تجميعنا (+ –) أو (– +) يتبع نفس القاعدة، مما جعلنا واثقين تماما أن أفكارنا تسير في الاتجاهات الصحيحة.

كان لدى سيدنى فكرة سابقة على ذلك. كان مقتنعا بأن طافرا (+ +) قد يؤدى إلى تطفير لاحق لنوع شاذ. وأجرى تجاربه على واحد من تلك الطافرات، لكن يبدو أن الطفرة اللاحقة كانت قريبة جدا من طفرة موجودة أصلا؛ حيث كان من الصعب على سيدنى فصلها. من جانب آخر، كانت هناك طريقة تقتضى مزيدا من الجهد نسبيا بإنشاء طافر ثلاثى، من النوع (+ + +) أو (– – –).

تبعًا لأفكارنا، يجب أن يكون النوعين من النوع الشاذ؛ حيث إن ثلاثة تغيرات متتالية في الحالة يعيدها بالتأكيد للحالة الصحيحة، مع الافتراض الدائم بالطبع أنها كانت شفرة ثلاثية.

ومثال لتتالينا البسيط:

.... ث أ ج ، ث أش+ج ث أ،ج ش+ ث،أج ث،أج ش+،ث أج ، .....

صحيح ← غير صحيح ← صحيح

كانت الطريقة المباشرة رغم حاجتها إلى الجهد لإنشاء مثل هذا الطافر الثلاثى اختيار ثلاثة طافرات، ليست بالغة البعد عن بعضها البعض وكلها +، ثم إنشاء زوجين، لكل منها طافر وسطى مشترك. (انظر شكل ١٢ - ٢) وكان هذا هو الجزء المجهد؛ حيث لم يكن هناك سبيل لاختيار مثل هذا التجميع من الطافرات.

...... ————×————×———————— ......

...... ————————————×————× ———— ......

شكل ١٢ - ٢

يمثل كل خط أحد الضفيرتين الأصليتين. كل علامة × تمثل طفرة. من المستحيل دمج الضفيرتين الأصليتين للحصول على ضفيرة بدون أية طفرات. ستكون الطفرة الوسطى هناك باستمرار. إضافة لذلك، قد يكون لبعض الذرية كلها ثلاث مشطوبات على نفس الضفيرة.

يجب توليد النسل ثم إجراء الاختبار المجهد للذرية التى لديها طافر ذى نمط ظاهرى، بفصل كل منها عن الأخرى، حتى يتم العثور على إحداها يكون فعلا من النوع (+ +) الجارى البحث عنه. والخطوة الأخيرة سهلة. يتم ببساطة توليد نسل زوجين معا؛ حيث إن كل منها يحتوى على طافر أوسط بين ثلاثة، لا مجال للشك فى أن التوليد يمكنه إنتاج نوع شاذ حقيقى؛ فإذا نتج بوضوح عن ذلك التوليد صفائح من النوع الشاذ، فإن الاحتمال الأعلى أن تكون من النوع الجارى البحث عنه (+ + +). وفى كل الحالات يكون من السهل تماما عندئذ التأكد من أنها كذلك بتفكيك الثلاثية المفترضة.

بالطبع، يمكن للثلاثية أن تشبه النوع الشاذ إذا كانت الشفرة ثلاثية. وإذا تمت قراءة القواعد كل أربعة أو خمسة فى نفس الوقت، وهو أمر لم يكن مستبعدا كما علمنا، يمكن أن يكون (+ + +) طافرا، وكان يمكننا إنشاء (+ + + +) أو حتى (+ + + + +). لم يكن جميع الموجودين فى المختبر يصدقون أن التجربة ستنجح. كنت متأكدا إلى حد

ما أنها قد تنجح. كذلك كان سيدنى، الذى كان بعيدا فى ذلك الوقت فى باريس. كان قد رصد ثلاثة تجميعات (+ + +) محتملة لإجراء التجارب عليها، لكن بعد رحيله تيقنت لحسن الحظ أن اثنين منها قد لا تنجح؛ لأنها قد تنتج فاصلا فى السلسلة، لذلك أنشأنا التجميع الثالث الذى كان من المرجح خلوه من تلك التعقيدات.

كنت فى ذلك الوقت قد اخترت زميلا هو ليسلى بارنيت لمساعدتى. كان قد تم إنجاز التوليدات النهائية للنسل على نحو واف ووضع كومة من صحون بترى فى جهاز الحضانة. عدنا بعد الغداء لفحصها. كانت نظرة واحدة إلى الصفيحة الحاسمة كافية. كان فيها رقائق! ظهر على الطافر الثلاثى سلوك النوع الشاذ (النمط الظاهرى). أعدنا مراجعة الرقم بعناية على صحون بترى للتأكد من أننا ننظر إلى الصفيحة الصحيحة. كان كل شىء على ما يرام. نظرتُ إلى ليسلى قائلا "هل أدركت أننا معا الوحيدون فى العالم الذين يعرفون أنها شفرة ثلاثية؟".

كانت النتيجة، فى نهاية الأمر، مهمة. هكذا أصبح لدينا ثلاثة طافرات مميزة، أى منها يبطل عمل الجين. ومنها يمكن إنشاء الطافرات الثلاثة المزدوجة المحتملة. وكل من تلك الأخيرة يمكنه أيضا جعل الجين بدون وظيفة. ويبقى أننا لو وضعنا كل الثلاثة معا فى نفس الجين (وقد أجرينا تجارب لإثبات أنها لابد أن تكون فى نفس الفيروس، وليس بعضها فى فيروس والباقى منها فى فيروس آخر منفصل)، فإن الجين يبدأ عندئذ فى أداء وظائفه من جديد. كان من السهل فهم ذلك إذا كانت الطافرات إضافات أو مشطوبات حقا ، وإذا كانت الشفرة فعلا من النوع الثلاثى. باختصار، حصلنا على أول دليل مقنع على أن الشفرة كانت شفرة ثلاثية.

لعلنى أبالغ قليلا. يمكن للدليل أيضا أن يناسب شفرة بست قواعد على كل كودون، لكن ذلك الاحتمال - كما أوضحت التجارب المعاونة - كان غير مرجح ويصعب أخذه مأخذا جادا.

كان مايزال هناك الكثير من العمل لاستيفاء نتائجنا. لم نكتف بإنشاء ثلاثية واحدة ، بل أنشأنا ست ثلاثيات مميزة - خمسة من النوع (+ + +) وواحدة من نوع

(- - -) ، وتوصلنا إلى أنها جميعا تسلك مثل النوع الشاذ. وكنت حتى ذلك الوقت مشغولا أكثر مما سبق، رغم أن ليسلى كانت تتيح لى حينئذ كثيرا من المساعدات. وبالرغم من ذلك لم يكن هناك أية تسليات. ذات أمسية، بعد تناول الطعام، كنت أعمل فى المختبر عندما حضرت صديقة لى ساحرة ، ووقفت خلفى عندما كنت أواصل ترتيب الأنابيب والصحون. قالت "أنت مدعو إلى حفلة" قالت ذلك وأصابعها تتسل إلى شعرى. قلت "أنا مشغول تماما"، قالت "لكن أين هى الحفلة؟" "حسنا " "ظننا أننا قد نظمناها فى منزلك". وأخيرا تم التوصل إلى حل وسط. ستنظم هى وأوديل حفلة صغيرة ؛ حيث أنضم إليهما عند انتهائى من العمل.

وبإلقاء نظرة على ما مضى، من الملفت للنظر قلة الوقت الذى اشتغلنا فيه _كنت بعيدا عن العمل نحو ستة أسابيع فى الصيف، خلاف رحلاتى إلى مونت بلانك، وطنجة، وموسكو _ وكم اشتغلنا أيضا باجتهاد وسرعة. كنت قد بدأت التجربة المهمة فى أوائل مايو ، وتم أيضا نشر بحثى فى "نيتشر" فى إصدار آخر العام.

لم نتوقف عند ذلك الحد. أجرى سيدنى بشكل خاص كثيرا من التجارب بمزيد من البراعة على تلك المنظومة. وقررنا فى آخر الأمر أنه من الأفضل أن ننشر تقريرا كاملا عنها؛ لذلك عملت أنا وليسلى بارنيت بلا كلل لترتيب كل الجوانب المغفلة. وكان لذلك نتيجة مهمة. كان معلوما حينئذ أن الثلاثيين ى أ و ى أ ى فاصلى سلسلة. وكنت مقتنعا أن ى ج أ ثلاثية ثالثة. كان سيدنى قد ابتكر طريقة معقدة لاختبار ذلك جينيا، لكن التجارب كانت تصل دائما إلى خطأ ذلك. عندما بدأنا كتابة نتائجنا، لاحظنا أنه لم يتم إجراء كل التجارب المحتملة من هذا النوع. وبمجرد أن توصلنا إلى وجود فجوة فى أحد جداولنا، طلبنا من ليسلى، كالعادة، أن تجرى تلك التجارب التى تم إغفالها. ولدهشتنا، نجحت التجربة عندئذ! فكررنا كل التجارب الأقدم؛ فكانت أيضا ناجحة هذه المرة! واتضح أنه عند إجرائها فى المرة الأولى، كنا قد حصرنا مجموعة من الضوابط للتأكد من أن كل شىء كان على ما يرام. ولسوء الحظ، كان أحد الضوابط أو غيره غائبا فى كل تجربة. وعندما توافرت كل الضوابط، توصلت التجربة بوضوح إلى أن ى ج أ كان فاصلا فى سلسلة.

خططنا لأن نهب نتائجنا مدفنا ملائما فى صفحات أغسطس فى "المحاضر الفلسفية للجمعية الملكية"، وحيث إنه أصبح لدينا حينئذ نتيجة تستحق بعض الاهتمام، استخرجنا التجارب من بحث "المحاضر الفلسفية" المقترح، وجعلناها فى بحث منفصل ظهر بعد ذلك بقليل فى "نيتشر". وأدهشنى إلى حد ما العثور على اسمى فى مسودة البحث؛ حيث كان العرف فى مختبرنا عدم وضع اسم شخص ما على بحث إلا إذا كانت له مشاركة ملحوظة فيه. لم تكن مجرد الاستشارة بين الأصدقاء كافية لذلك. سألت سيدنى "لماذا أضفت اسمى؟". واجهنى بابتسامة عريضة قائلا "للمثابرة على الإزعاج"، فتركت الأمر كما هو.

وكانت أكثر التجارب إجهادا التى أجرتها ليسلى تلك التى وضعت خلالها ست علامات + معا فى جين واحد وإثبات أن النتيجة تشبه النوع الشاذ. ويصعب التعبير عن مدى ما اتصفت به تلك التجربة من ملل وتعقد. يجب وضع ال (+ + + + + +) المطلوبة معا فى مراحل، مع اختبارها فى كل مرحلة لمعرفة ما إذا كان الجين له حقا البنية المتوقعة. وبعد الحصول على التجميع النهائى واختباره، يجب فكه بعد ذلك، خطوة خطوة، للتأكد من أنه يتفق مع ما اعتقدناه. واحتاج مجرد الوصف العام لكل ما أنجزته ليسلى إلى كثير من الصفحات الكبيرة فى "المحاضر الفلسفية".

عندما كنا منكبين على إكمال المخطوطة النهائية، قلت لسيدنى إننى أتوقع أن نكون أنا وهو الوحيدين فى العالم الذين قد يقرأونها باهتمام. وبغرض المرح قررنا إضافة مرجع مزيف، فوضعنا عند أحد الأفكار "ليوناردو دافينشى (اتصال شخصى)" وسلمناها إلى الجمعية الملكية. أجازها أحد الحكام (المجهولين) دون تعليق، لكننا تلقينا مكالمة هاتفية من بل هاييس، الحكم الآخر، الذى سأل " من هذا الإيطالى الشاب الذى يعمل فى مختبركم؟". فحذفناه على مضض.

كانت البرهنة بالطرق الجينية على أن الشفرة شفرة ثلاثية عمل دال على البراعة، لكنها حصلت بعد وقت قليل على دعم بطرق الكيمياء الحيوية المباشرة. وكان الأكثر أهمية على المدى البعيد إثبات أن طافرات الأكريدين تسبب مشطوبات ومحذوفات قليلة. وحتى ذلك لم يكن غير مشكوك فيه؛ حيث كان ليونارد ليرمان قد توصل إلى دليل

فيزيائى كيميائى موح جدا على أن الأكريدينات تتسل بين قواعد الدنا، مما قد يؤدى بسهولة إلى إضافات أو مشطوبات للدنا عند نسخه. إضافة لذلك، كان يجب البرهنة التامة على صحة النظرية بواسطة طرق الكيمياء الحيوية المباشرة. وعزم كل من عالمى الكيمياء الحيوية بيل دريبير وجورج ستريسينجير على إنجاز تلك المهمة رغم أنهما كان يتصفان ببطء نسبى فى حصولهما على الإجابة - كان العمل فى الكيمياء الحيوية صعبا من الناحية التقنية فى ذلك الزمن. كنا نتجادل أنا وسيدنى كل شهر أو نحو ذلك حول ما إذا كان علينا أن نعالج الموقف بأنفسنا ، لكننا كنا غير راغبين لعمل ذلك، خاصة وأن جورج كان "من القدامى" - أى أنه قضى بعض الوقت فى مختبرنا. وأخيرا حصل جورج على الإجابة، ليس بالعمل على منتجات مجهولة لجينين، ولكن على فاج ليسوزيم. وتوصل إلى ما توقعناه بالضبط. حدث تغيير حقيقى لخيط الأحماض الأمينية بين الطافرات، إضافة إلى أنها تلائم جيدا ما كان معروفا عن الشفرة الوراثية، التى كانت قد ظهرت توا.

بعد ذلك بقليل كنت فى لقاء فى فيلا سيربيلونى عند بحيرة كومو، نظمه عالم البيولوجيا كونراد وادينجتون (الذى يطلق عليه أصدقاؤه دائما واد). هناك للمرة الأولى قابلت عالم الرياضيات رينيه توم. وكان أول ما قاله لى تقريبا إن عملنا على طافرات أكريدين خاطئ حتما، وحيث إننى كنت قد عرفت توا أن أفكارنا تم إثباتها بالكيمياء الحيوية، أصابتنى الدهشة إلى حد ما وسألته لماذا يظن الأمر كذلك. أوضح أنه إذا أنشأ المرء، مثلا، طافرا ثلاثيا، سيحصل بالضرورة على توزيع بويسون لواحد، ضعف، ثم أربعة أضعاف، ... إلخ، لذلك فإن حججنا واهية، وحيث إننا بذلنا جهدا فى الجمع بين طافراتنا المضاعفة (وفحصنا كل منها بعناية)، أدركت فورا أن اعتراضه ليس له سند؛ لأنه قائم على سوء فهم. إما أنه لم يقرأ بحثنا بعناية كافية أو، إذا كان قد قرأه، فإنه لم يفهمه، لكن - حسب خبرتى فى ذلك الوقت - كان أغلب علماء الرياضيات كسالى عقليا ولا يحبون بشكل خاص قراءة أوراق البحث التجريبية.

كان انطباعى عن رينيه توم أنه عالم رياضيات جيد، لكنه بشكل ما عالم متعجرف، لا يحب توضيح أفكاره بمصطلحات يمكن لغير علماء الرياضة فهمها. لحسن الحظ كان

هناك فى اللقاء أيضا عالم طوبوغرافيا، كريستوفير زيمان، الذى أوضح أفكار توم بشكل ممتاز.

وكان انطباعى الآخر حول توم أنه فى الحقيقة يفهم القليل عن كيفية العمل فى المجال العلمى. وما لا يفهمه لا يحبه، ويصفه باستخفاف بأنه "أنجلو _ساكسون". بدا لى أن لديه قدرات على الحدس فى البيولوجيا ، لكنها للأسف كانت فى الاتجاه السلبى، وأظن أن أى فكرة بيولوجية لديه ستكون خاطئة على الأرجح.

الفصل الثالث عشر

استنتاجات

حان الوقت لمحاولة جمع الخيوط معا. فى العروض المجملة المبكرة حاولت توضيح بعض جوانب البحث البيولوجي، من ناحية لكى أرسم ملمحه الخاص، ثم، بالمناسبة، لعرض بعض اللمحات عن البحث بوصفه نشاطًا إنسانيًا .

وما يعطى للبحث البيولوجى نكهته الخاصة هو عملية الانتخاب الطبيعى الطويلة المتصلة. يعتبر كل كائن، وكل خلية، وكل الجزيئات الأكبر فى الكيمياء الحيوية، النتيجة النهائية لعمليات طويلة معقدة، وتعود غالبا إلى عدة بلايين من السنوات. وهذا يجعل البيولوجيا نوع مختلف تماما من الموضوعات مقارنة بالفيزياء. والفيزياء، سيان كانت فى أشكالها الأساسية، مثل دراسة الجسيمات الأساسية وتفاعلاتها، أو فى الأفرع الأكثر تطبيقية، مثل الجيوفيزياء أو علم الفلك، مختلفة تماما عن البيولوجيا. وصحيح أننا نتعامل فى الفرعين الأخيرين مع تغيرات عبر فترات زمنية مشابهة، وأن ما نواجهه هو النتيجة النهائية لعمليات تاريخية طويلة. ويمكن للطبقات فوق الطبقات من الصخور المكتشفة فى جراند كانيون أن تكون مثالا لذلك.

ومع ذلك، قد "تتطور" النجوم ، لكنها لا تتطور بالانتخاب الطبيعى. وخارج البيولوجيا، لن نجد عملية الاستنساخ الهندسى الدقيق، الذى، مع تناسخ الطافرات، يؤدى إلى أحداث نادرة تصبح شائعة. ولو وجدنا ما يقترب من هذه العملية، فإنه بالتأكيد لا يحدث مصادفة مرة بعد مرة، حتى يتراكم التعقيد على التعقيد.

وملمح آخر مهم فى البيولوجيا هو وجود كثير من الأمثلة المتطابقة للبنيات المعقدة. بالطبع، كثير من النجوم متشابهة على نطاق واسع لبعضها البعض. وكثير من

البللورات فى الصخور الجيولوجية تكون لها بنية مشابهة فى الأساس، لكن لن نعثر فى أى من الحالتين على نجوم أو بللورات متطابقة فى كثير من التفاصيل الصغيرة، بينما فى الجهة الأخرى، يوجد نوع واحد من جزيئات البروتين عادة بنسخ متطابقة تماما. ولو كان ذلك نتاج الصدفة وحدها، بدون مساعدة الانتخاب الطبيعى، لكان من الممكن النظر إليه تقريبا على أنه بعيد الاحتمال تماما.

والفيزياء مختلفة أيضا ؛ لأنه يمكن التعبير عن نتائجها بقوانين عامة قوية، وعميقة، ومضادة للبديهة فى كثير من الأحوال. ولا يوجد دون ريب شىء فى البيولوجيا يناظر النسبية الخاصة والعامة، أو الديناميكا الكهربائية الكمية، أو حتى قوانين ببساطة قوانين حفظ الطاقة، كمية الحركة، وكمية الحركة الزاوية. للبيولوجيا "قوانينها"، مثل قوانين مندل للوراثة، لكنها تكون غالبا تعميمات أكثر اتساعا، مع وجود استثناءات مهمة لها. وقوانين الفيزياء، كما هو معروف، تكون هى نفسها فى أى مكان فى الكون. وغير مرجح أن يكون ذلك صحيحا بالنسبة للبيولوجيا. وليس لدينا أية فكرة حول مدى التشابه بين البيولوجيا خارج الكرة الأرضية (إذا كانت موجودة أصلا) وبين البيولوجيا لدينا. ويمكن بالتأكيد اعتبارها أنها ستكون بالمثل خاضعة للانتخاب الطبيعى، أو شىء آخر يشبهه إلى حد ما، لكن حتى ذلك يعتبر مجرد تخمينات مقبولة.

ما نجده فى البيولوجيا هو الآليات، تتكون الآليات من المركبات الكيميائية التى تتعدل غالبا، فيما بعد، بآليات أخرى تضاف إلى تلك السابقة عليها. وبينما تكون شفرة أوكام أداة مفيدة فى علوم الفيزياء، يمكن أن تكون وسيلة خطيرة جدا فى البيولوجيا؛ لذلك يعتبر من التهور تماما استعمال البساطة والأناقة مرشدا فى البحث البيولوجى. وبينما يمكن اعتبار الدنا بسيطا وأنيقا، يجب أن نتذكر أن الدنا نشأ بالتأكيد غالبا قريبا تماما من أصل الحياة عندما كانت الكائنات بسيطة بالضرورة، وإلا ما أتيح لها مواصلة الحياة.

يجب على علماء البيولوجيا أن يتذكروا باستمرار أن ما يرونه لم يكن معدا تبعا لخطة، ولكن بالأحرى متطورا. من هنا يجب إدراك أن البراهين التطورية يمكنها أن تلعب دورا مهما فى إرشاد البحث البيولوجى، لكن ذلك لا يحدث. من الصعوبة إلى درجة ما دراسة ما يحدث الآن. ومحاولة تصور ما حدث خلال التطور يعد أيضا أكثر

صعوبة. من هنا يمكن للبراهين التطورية أن تستخدم بشكل مفيد "كتلميحات" لاقتراح المسارات الممكنة للبحث، لكن من الخطورة البالغة الثقة فيها أكثر من اللازم. وإنه لمن السهل تماما التوصل إلى استنتاجات خاطئة إلا إذا تم فهم العملية المعنية بشكل جيد جدا.

كل ذلك يجعل من الأمر بالغ الصعوبة بالنسبة لعلماء الفيزياء فى تكيفهم مع أغلب الأبحاث البيولوجية. ولدى كل علماء الفيزياء ميل شديد للبحث عن أنواع التعميمات الخاطئة، لتلفيق نماذج نظرية بالغة الأناقة، وبالغة القوة، وشديدة الترتيب. وليس مدهشا، أنه من النادر أن تتلاءم تلك النظريات جيدا مع البيانات . لإنتاج نظرية بيولوجية جيدة حقا يجب على المرء أن ينفذ بنظره من خلال الركام الناجم عن التطور إلى الآليات الأساسية المدفونة تحته، مدركا أنه من المحتمل أنها مغطاة بآليات أخرى ثانوية. وما يبدو لعلماء الفيزياء عملية معقدة تدعو إلى اليأس قد تجده الطبيعة الأكثر سهولة؛ لأن الطبيعة يمكنها فقط البناء على ما هو موجود فعلا.

والشفرة الوراثية مثال جيد لما أعنيه. من يمكنه ابتكار هذا التخصيص المعقد لأربع وستين ثلاثية؟ (انظر الملحق ب) بالتأكيد أن الشفرة الخالية من الفاصلة (صفحة ١٢٢) كانت كل ما يجب أن تكون عليه النظرية. حل أنيق مبنى على افتراضات بالغة البساطة – ومع ذلك فهو خاطئ. ورغم ذلك، يوجد نوع من البساطة فى الشفرة الوراثية. كل الكوبونات لها ثلاث قواعد فقط. ولشفرة مورس، فى المقابل، رموز ذات أطوال مختلفة، الأقصر يشفر للأحرف الأكثر تكرارا. ويجعل ذلك الشفرة أكثر فعالية، لكن مثل هذه الخاصية قد تكون بالغة الصعوبة بالنسبة للطبيعة خلال التطور فى ذلك الزمن المبكر. وفى هذا الإطار لا يمكن الثقة دائما فى المناظرات حول "الفعالية" فى مجال البيولوجيا؛ حيث إننا لا نعرف بالضبط المشاكل التى واجهها ما لا يحصى من الكائنات خلال التطور. وبدون معرفة ذلك، كيف يمكننا أن نقرر أفضل الأشكال اللازمة للفعالية؟

وهناك درس أكثر عمومية يمكن استخراجه من هذا المثال حول الشفرة الوراثية. وهو، أنه فى مجال البيولوجيا، تكون بعض المشاكل غير مناسبة أو غير ملائمة للتعامل النظرى معها، وذلك لسببين رئيسيين: الأول وهو ما سبق أن وصفته مجملا – الآليات

الراهنة قد تكون جزئيا نتيجة أحداث تاريخية. والآخر أن "التقديرات" المتضمنة قد تكون مفرطة التعقيد.

ويبدو ذلك صحيحا فى مشكلة التفاف _البروتين.

تنجز الطبيعة "حسابات" الالتفاف تلك بدون جهد، بدقة، وفى نفس الوقت، وهو توافق لا أمل لنا فى تقليده بالضبط. إضافة إلى ذلك، قد يكون التطور وجد إستراتيجيات جيدة لاستكشاف كثير من البنيات الممكنة؛ بحيث يمكن اتباع طرق مختصرة فى المسار إلى اللف الصحيح. والبنية النهائية توازن دقيق بين كميتين كبيرتين، طاقة الجاذبية بين الذرات، وطاقة التنافر. ويصعب جدا حساب كل منها بدقة، وفوق ذلك لتقدير الطاقة الحرة لأى بنية محتملة يجب علينا أن نقدر الفرق بينهما. ولأن ذلك يحدث عادة فى محلول مائى؛ حيث يجب أن نسمح بوجود كثير من جزيئات الماء المحيطة بالبروتين، تصبح المشكلة أكثر صعوبة مما نتوقع.

ولا تعنى تلك المصاعب عدم البحث عن المبادئ الأساسية المتضمنة (مثلا، أن البروتين الموجود فى محلول مائى يلتف لكى يبعد مجموعاته الجانبية النافرة من الماء من التماس مع الماء)، لكنها تعنى أنه قد يكون من الأفضل محاولة الالتفاف حول تلك المشاكل وعدم محاوله التعامل معها رأسا فى مرحلة مبكرة تماما.

ويمكن استخراج عدد من الدروس الأخرى من تاريخ البيولوجيا الجزيئية، رغم أنه قد يكون من السهل العثور على نماذج مماثلة فى الفروع العلمية الأخرى. من المدهش كيف يمكن لفكرة بسيطة خاطئة أن تغرق الموضوع فى ضباب كثيف. ومثال لتلك الحل الخطأ الذى تبنيته عندما ظننت أن كل قاعدة للدنا توجد على شكلين مختلفين على الأقل. وحالة أخرى، كانت أكثر إثارة من عدة جوانب، وهى افتراض أن الرنا الريبوسومى هو الرنا المرسال. إضافة إلى إدراك كيف كانت تلك الفكرة الخاطئة قابلة للتصديق. كان جين براشيت، اختصاصى علم الأجنة، قد أوضح أن الخلايا ذات المعدل المرتفع فى تركيب البروتين يكون فى السيتوبلازم الخاص بها كميات ضخمة من الرنا. وكنت أعرف أنا وسيدنى ضرورة وجود مرسال لنقل الرسالة الوراثية الخاصة بكل جين من الدنا فى النواة إلى الريبوسومات فى السيتوبلازم، وافترضنا أنه الرنا. وفى ذلك

كنا على حق. من كان لديه الجرأة ليعلن أن الرنا الذى وجدناه هناك لم يكن المرسال، لكن المرسال كان نوعًا آخر من الرنا، وهو ما لم يكن قد تم رصده بعد، يتقلب هناك بسرعة ويرجح وجوده بكميات صغيرة؟ ولم يزعزعنا عن تصوراتنا المسبقة سوى التراكم التدريجي للحقائق التجريبية التى بدت مناقضة لفكرتنا الأساسية. وحتى فى ذلك الحين كنا منتبهين بالفعل إلى أن شيئا ما كان خطأ، وكنا نحاول دائما التوصل إليه. وكان عدم اقتناعنا وراء إمكانية أن نكتشف الخطأ. إذا لم نكن بتلك اليقظة فى التعامل مع هذه المتناقضات لم يكن مقدرا لنا أبدا التوصل إلى الحل. وفى آخر الأمر، بالطبع، كان ممكنا توصل شخص آخر إلى اكتشاف ذلك الحل، لكن تطور الموضوع كان محتما أن يسير بشكل أقل سرعة ، وكنا سنبدوا بالغى الحماقة.

يصعب، فى حالة عدم توافر خبرة مماثلة، نقل المشاعر المثيرة للاستثارة المفاجئة التى تفيض على العقل عندما تنبثق الفكرة الصحيحة أخيرا. ويكتشف المرء فجأة كيف يتم التفسير الدقيق لكثير من الحقائق المحيرة سابقا بواسطة الفرضيات الجديدة. وقد ينقم المرء على نفسه؛ لأنه لم يدرك الفكرة مبكرا، تلك التى أصبحت الآن بكل هذا الوضوح. مع أنها كانت قبل ذلك فى ضباب. ويتضح فى أغلب الأحيان أنه لإثبات فكرة جديدة يحتاج الأمر إلى نوع مختلف من التجارب. ويمكن أحيانا إجراء تلك التجارب فى زمن بالغ القصر، وإذا كللت بالنجاح، فإنها تؤدى إلى إحاطة الفرضيات بشك مقبول. وفى مثل تلك الأحوال يمكن الانتقال من المتاهات المربكة إلى اليقين المفترض خلال عام أو حتى أقل من عام.

ناقشت سابقا (فى الفصل العاشر) أهمية الفرضيات العامة السلبية (إذا أمكن العثور على الجيد منها)، خطأ الخلط بين العملية والآليات المختلفة نوعا ما التى تتحكم فيها، وخاصة أهمية عدم الخلط بين العملية المساعدة الأقل أهمية بتلك الآلية الرئيسية محط الاهتمام.

من ناحية ثانية، يتمثل الخطأ الرئيسى – كما أراه – فى الأعمال النظرية الراهنة فى تخيل أن النظرية نموذج حقيقى جيد لآلية طبيعية خاصة وليس مجرد فرضية _ نظرية "لا تهتم". ويكون علماء النظريات عادة مغرمين جدا بأفكارهم الخاصة، وغالبا

بسبب تعايشهم معها زمنا طويلا. ومن الصعب أن يصدق المرء أن نظريته العزيزة، التى تنطبق بدقة نسبية فى بعض المجالات، قد تكون خاطئة كلية.

وتأتى المشكلة الرئيسية من أن الطبيعة بالغة التعقيد حتى إن كثيرا من النظريات المختلفة تماما يمكنها بطريقة أو بأخرى أن تفسر النتائج. وإذا كانت الأناقة والبساطة، فى البيولوجيا، مرشدين محفوفين بالمخاطر بالنسبة للحل الصحيح؛ فما هى القيود التى يمكن وضعها مرشدا خلال غابة النظريات الممكنة؟ يبدو لى أن القيود الوحيدة الحقيقية المفيدة هى المتضمنة فى الأدلة التجريبية. وحتى تلك المعلومة لا تخلو من المخاطر؛ حيث إن الحقائق التجريبية، كما رأينا، تكون فى كثير من الأحوال مضللة أو حتى خاطئة تماما؛ لذلك لا يكفى الحصول على معرفة تقريبية بالأدلة التجريبية، ولكن بالأحرى يتطلب الأمر التوصل إلى معرفة عميقة وانتقادية بكثير من الأنواع المختلفة من الأدلة، حيث لا يعرف المرء أبدا نوع الحقائق المرجح أن يكون كاشفا للسر.

ويبدو لى أن قليلاً جدا من علماء النظريات البيولوجية يتبنون هذا المدخل. وعندما يواجهون ما يبدو لهم مشكلة، يفضلون عادة العمل الخالى من البراعة بواسطة نظريتهم وليس البحث عن بعض الاختبارات الحاسمة. ويحق أن نتساءل: ما الشىء الجوهرى فى نوع النظرية التى أسستها، وكيف يمكن اختبار ذلك؟ حتى لو تطلب الأمر بعض الطرق التجريبية الجديدة لإنجاز ذلك.

ويجب أن يدرك علماء النظريات البيولوجية أنه من غير المرجح تماما أن يصلوا إلى نظريات مفيدة (كنقيض للفرضية المجردة) بمجرد حصولهم على فكرة ذكية ترتبط من بعيد بما يتخيلون أنه حقائق. ومن غير المرجح أكثر أن يصلوا إلى نظرية جيدة عند أول محاولاتهم. إنهم الهواة فقط الذين لديهم فكرة واحدة ضخمة ذكية لا يمكنهم التخلى عنها أبدا. ويعرف المحترفون أن عليهم التوصل إلى نظرية إثر نظرية قبل أن يكون من المرجح فوزهم بالجائزة الكبرى. وتتيح لهم نفس عملية التخلى عن نظرية فى سبيل أخرى درجة من التجرد النقدى الذى يعتبر أساسى عادة إذا كان النجاح من نصيبهم.

عمل علماء النظريات، خاصة فى البيولوجيا، اقتراح تجارب جديدة. ولا تقتصر النظرية الجديدة على تقديم تنبؤات، لكن تقديم التنبؤات التى تصبح حقائق. (إذا كانت تنبؤاتهم تبدو واضحة لمن يجرون التجارب، لماذا يحتاجون إلى نظرية؟). يشكو علماء النظريات غالبا من أن التجريبيين يهملون عملهم. دع عالم نظريات ينتج نظرية واحدة فقط من النوع الموضح بشكل تقريبى سابقا، وستجد العالم كله يقفز إلى استنتاج (الذى لا يكون صحيحا فى كل الأحوال) أن لعالم النظريات هذا تبصرا خاصا بالمشاكل الصعبة. وقد يصبح فى ربكة أمام فيض المشاكل التى يطلب منه حلها بواسطة نفس التجريبيين الذين تجاهلوه سابقا.

إذا ساعد هذا الكتاب أى شخص فى التوصل إلى نظريات بيولوجية جيدة، فسوف يكون قد أدى أحد مهامه الرئيسية.

الفصل الرابع عشر

خاتمة : سنواتى اللاحقة

فى يونيو ١٩٦٦ كان اللقاء السنوى فى مختبر كولد سبرينج هاربور حول الشفرة الوراثية، وشهد اللقاء نهاية البيولوجيا الجزيئية الكلاسيكية؛ لأن الصورة التفصيلية للشفرة الوراثية - القاموس الصغير - أثبتت، بشكل تقريبى، أن الأفكار الرئيسية فى البيولوجيا الجزيئية كانت صحيحة إلى حد بعيد. كان من اللافت للنظر بالنسبة لى ولأغلب الآخرين، من نفس المجال أو من خارجه، أنه كان علينا الوصول إلى هذا الموقف بتلك السرعة. عندما بدأت البحث البيولوجى فى ١٩٤٧ لم يكن لدىّ شك فى أن كل المشاكل الرئيسية التى كانت تشغلنى - مما يصنع الجين؟ كيف يتناسخ؟ كيف يعمل، وكيف يتوقف عن العمل؟ ما وظيفته؟ - ستجد لها حلولا خلال عمرى العلمى الخاص. اخترت موضوعا، أو سلسلة من الموضوعات، افترضت أنها ستغطى الفترة النشطة فى مهنتى العلمية، والآن أجد نفسى وقد حققت أغلب طموحاتى.

بالطبع لم تجد كل تلك المشاكل حلولا تفصيلية. مازلنا لا نعرف تتالى القواعد لأى جين. وكانت أفكارنا حول الكيمياء الحيوية لتناسخ الجين بالغة التبسيط. كنا نعرف فى البكتيريا فقط كيف يتم التحكم فى الجين، وحتى فى تلك الحالة كانت التفاصيل الجزيئية ناقصة. وقليل جدا من الأشياء التى كنا نعرفها عن التحكم فى الجينات فى الكائنات الأعلى. ورغم معرفتنا بأن الرنا المرسال يتحكم فى تركيب البروتين، كان موقع تركيب البروتين - الريبوسوم - لا يتجاوز صندوقا أسود بالنسبة لنا. ومع ذلك تحققنا فى ١٩٦٦ أن "تأسيس" بيولوجيا جزيئية تم تحديده بقدر كاف من الرسوخ؛ بحيث يمكن استخدامه كأساس آمن إلى حد ما لمهمة تغطية كثير من التفاصيل.

ورأيت أنا وسيدنى برينير أن الوقت قد حان للانتقال إلى مجالات جديدة. واخترنا علم الأجنة - كما يطلق عليه غالبا فى المصطلح الأكثر عمومية فى البيولوجيا المتطورة. اختار سيدنى، بعد كثير من القراءات والتفكير، الدودة الخيطية سينورهابديتاس إليجانس كائنا مناسبا للدراسة؛ حيث إنها تتوالد بسرعة، وتنمو بسهولة فى المختبر، ولها تركيب وراثى غير عادى، لكنه مثير للاهتمام. (وهى خنثى ذاتية التلقيح). ويزغ أغلب العمل الذى يتم حاليا على هذا الحيوان الضئيل ـحتى إنها تستخدم أيضا للدراسات حول الشيخوخة - عن تلك الدراسات الرائدة لسيدنى.

توصلت إلى أن التدرجات، أيا كانت، من الملامح المهمة للتطور. بطريقة ما يبدو أن الخلية فى الظهارة (لوح من الخلايا) تعرف أين هى على اللوح. ويعزى ذلك إلى وجود "تدرجات" فى أى شكل أو غيره ـمن المحتمل مثلا التغير المنتظم فى تركيز مادة كيميائية من جزء ما على اللوح إلى جزء آخر. وكانت طبيعة تلك التدرجات المفترضة غير مجهولة تماما فى ذلك الوقت. وفى تلك المرحلة تقريبا انضم إلينا بيتير لورانس، وتابعت عمله عن قرب على التدرجات فى الحشرات الجلدية، التى كان ميشيل لوك رائدا فيها. وكان زميلاى ميشيل ويلكوكس وجريم ميتشيسون يدرسان منظومة أكثر بساطة نسبيا، نمط الخلايا فى السلاسل الطويلة للخلايا التى تكونت بأحد الطحالب الزرقاء - الخضراء (التى يطلق عليها حاليا البكتيرية). ورغم كل جهودهما، اتضح أنه من المستحيل العثور على موطئ قدم للأساس الكيميائى الحيوى لحل المشكلة - ما الجزيئات المستخدمة لتكوين هذا التدرج أو ذاك؟ ـوفى آخر الأمر تحولت إلى الجوانب الأخرى من الموضوع. أصبحت مهتما بالهيستونات، البروتينات الصغيرة المصاحبة للدنا فى الكروموسومات لدى الكائنات الأعلى، وانكببت عن قرب على عمل زميلاى روجير كورنبيرج وآرون كلوج، وغيرهما، الذى أدى إلى التوصل إلى النيكلوسومات، الجسيمات الصغيرة التى يلتف حولها الدنا الكروموسومى.

فى إحدى إجازاتى فى ١٩٧٦ قررت الذهاب إلى معهد سولك. ويقع سولك (اسمه بالكامل معهد سولك للدراسات البيولوجية) خلف صخور صخرية تطل على المحيط الهادى فى لا جولا، فى ضاحية سان دييجو فى ساوثرن كاليفورنيا السفلى. ولمدة اثنى عشر عاماً، بعد قليل من الافتتاح الرسمى للمعهد فى أول ديسمبر ١٩٦٠ ، كنت زميلا

غير مقيم (عمليا عضو لجنة زائرة)، وبالفعل شاركت في نشاطها قبل أن يبدأ العمل في المعهد. وفي فترة سابقة كنت أسافر أنا و"برونو" برونوفسكي جوا إلى لندن وباريس لإجراء مشاورات مع جوناس سولك، وجاك مونود، وميل كوهن، وإد لينوكس حول موضوعات، مثل القانون الداخلي للمعهد المقترح .

بذل الدكتور فريدريك دي هوفمان، مدير معهد سولك، جهودا ضخمة لإغرائي بالمكوث هناك. وأخيرا أقنع مؤسسة كيكهيفير بأن تخصص لي كرسيا . واستقلت من مجلس الأبحاث الطبية. واستقر بنا المقام أنا وأوديل في ساوثرن كاليفورنيا؛ حيث نقيم حتى الآن.

وكاليفورنيا محاطة بالفعل بالصحراء من الجانب الشرقي، ومن الجانب الغربي بالمحيط الهادي، وفي الجنوب المكسيك وفي الشمال ولاية أوريجون، حيث الطقس ممطر على ما يبدو أغلب العام. ولكاليفورنيا ضعف مساحة بريطانيا تقريبا، وسكانها أقل بقليل من نصف سكان بريطانيا، وهي أكثر غنا بما لا يقدر. وفيها نظام جامعات ضخم يستحق الإعجاب. وأوديل وأنا أجنبيان مقيمان - أي، مهاجرين - ومع ذلك بقينا مواطنين بريطانيين. وليس للمهاجر حق التصويت، لكنه من ناحية أخرى يتمتع بكل امتيازات المواطن الأمريكي وعليه كل واجباته، بما في ذلك دفع الضرائب.

وأشعر شخصيا بأنني في وطني في ساوثرن كاليفورنيا. أحب الرخاء الاقتصادي وطريقة الحياة المسترخية. ولسهولة الوصول إلى المحيط، والجبال، والصحراء جاذبية أيضا. توجد أميال من الشواطئ الجميلة للسير عليها - وتكون عادة في غير الموسم مهجورة تقريبا. والوصول إلى الجبال يحتاج ساعة فقط، وهي أكثر ارتفاعا من أي من الجبال في الجزر البريطانية (وهذا لا يوضح شيئا) ويكسوها الجليد في أحوال كثيرة خلال الشتاء. وتطل الجبال الأعلى على الصحراء. وفي الربيع، إذا توافر هناك ما يكفي من مطر الشتاء، تتفجر الصحراء بالأزهار. وحتى في الأوقات الأخرى يكون لها فتنتها البالغة، جزئيا بسبب الألوان المنسقة والامتداد الشاسع للسماء.

ورغم الطقس المثالي عادة، يبدو على العلماء هنا أنهم يعملون بمشقة. وفي الواقع، يعمل بعضهم بعناء يصل إلى حد عدم توافر وقت لديهم للتفكير الجاد. يجب أن ينتبهوا

إلى مقولة "حياة مزدحمة هى حياة ضائعة". وفى بقية أمريكا يقل شعورى بأننى فى وطنى. وتبدو نيويورك بعيدة عنى تقريبا، من جانب المسافة والطقس كما هو شأن لندن الآن. وهكذا فإنى مشاعرى تجاه نيويورك وكاليفورنيا تتناقض تماما مع نظيراتها لدى وودى ألان. وودى يحب نيويورك ويكره كاليفورنيا. ويقول " إنها المزية الثقافية فقط؛ حيث يمكنك أن تقلب اليمينى إلى يسارى"، لكنه يبدو بعد ذلك مستمتعا بما نسميه فى الغرب "جاذبية الشاطئ الشرقى".

لم يتوقف نمو البيولوجيا الجزيئية خلال عشر سنوات ابتداء من ١٩٦٦ ، لكنها كانت فترة تماسك بشكل أو بآخر. ربما كان أهم الاكتشافات اكتشاف الفيروسات الارتجاعية (ريتروفيروس) _فيروسات الرنا التى نسخت إلى دنا ثم اندمجت فى الدنا الكروموسومى. وتوصل إلى تلك النتائج المهمة بشكل مستقل كل من هووارد تيمين ودافيد بالتيمور. ومن أجل ذلك تم منحهما جائزة نوبل للطب فى ١٩٧٥ ، مشاركة مع ريناتة دولبيتشو، الذى يعمل حاليا فى معهد سولك. (والفيروس المسبب لمرض الإيدز فيروس ارتجاعى. وبدون هذا العمل الرائد كان من الصعب فهم أى شىء عن الإيدز).

ورغم أننى لم أكن أقدرها، كانت البيولوجيا الجزيئية على وشك الخطو خطوة عملاقة إلى الأمام، بسبب ثلاث تقنيات جديدة: الدنا المعاد توحيده، والتتالى السريع للدنا، والأجسام المضادة وحيدة النسيلة. وساد الصمت بين النقاد الذين حاولوا البرهنة سابقا أن قليلا من الفوائد العملية أتت من البيولوجيا الجزيئية، بعد أن ثبت، بتلك التقنيات، أنه يمكن الحصول على أرباح منها. ولن أحاول استعراض تلك التطورات المهمة بالتفصيل، ولا النتائج المهمة التى تظهر حاليا كل يوم تقريبا، والسبب الرئيسى لذلك أننى لم أكن مشاركا فيها بنفسى.

رأيت أن الانتقال إلى معهد سولك كان فرصة مثالية لأن يصبح لدى اهتمام عن قرب بالأعمال فى مجال المخ. وكنت قد تابعت خلال عدة سنوات أجزاء من هذا الميدان من على بعد. (كانت معرفتى الأولى بأعمال دافيد هوبيل وتورستين ويسيل على الجهاز البصرى من خلال تنبيل لمقالة فى المجلة الأدبية "إنكاونتر"). وأيقنت أنه إذا كان علىّ أن أدرس المخ بشكل أكثر دقة فإن ذلك يجب أن يتم الآن وإلا فلن يحدث أبدا؛ حيث إننى قد تجاوزت توا عمر الستين.

احتجت عدة سنوات لانتزاع نفسي من اهتماماتى القديمة، خاصة وأن أشياء مدهشة كانت تتم طوال الوقت فى مجال البيولوجيا الجزيئية. وكان واحد من تلك المدهشات اكتشاف أنه ، فى أحوال كثيرة، لا يكون مقطع الدنا الذى يشفر لسلسلة عديد الببتيد متصلا، كما افترضنا سابقا، لكنه متقطع بسبب مقاطع طويلة بما يبدو أنه تتاليات "لا معنى لها". وهذه التتاليات، التى يطلق عليها حاليا إنترونات، تم فصلها عن ما قبل الرنا المرسال بعملية يطلق عليها التوصيل. وأصبح الرنا المرسال الناتج، بكل الكسرات ذات المعنى (المسماة إكسونات) مرتبط ببعضه، وتم نقله إلى السيتوبلازم حتى يمكنه التحكم فى تركيب البروتين الذى يشفر له، على الريبوسوم.

وتوجد تلك الإنترونات بشكل رئيسى فى الكائنات الأعلى. وفى جيناتنا الخاصة تكون التتاليات التى لا معنى لها (الإنترونات) أطول فى أغلب الأحيان عن تلك ذات المعنى (الإكسونات). والإنترونات أكثر ضآلة لدى تلك الكائنات "الأعلى"، مثل ذبابة الفاكهة دروسوفيلا، التى لديها قليل من الدنا نسبيا. وفى الكائنات البدائية، مثل البكتيريا، يصعب وجود الإنرتونات بالمرة، وحينئذ توجد فقط فى أماكن خاصة (إنترونات صغيرة فى جينات الرنا الناقل).

وتم أيضا اكتشاف أنه ليس كل مقاطع الدنا "بين" الجينات ذات معنى مهم بالضرورة. كان كثير من دنانا، ربما يبلغ ٩٠ فى المائة ، يبدو للوهلة الأولى خردة غير ضرورية. وحتى لو كان لها استخدام، فإنه من الممكن ألا تعتمد وظيفتها على التفاصيل الدقيقة لتتاليها. كتبت أنا وليسلى أورجيل مقالة ترى أن أغلبه "دنا أنانى" – قد يكون مصطلحا أفضل "دنا طفيلى" – الذى يوجد لا من أجل الكائن، ولكن لمصلحته الخاصة. وعرض ريتشارد داونكينز ذلك الرأى سابقا بشكل مختصر تماما فى كتاب له بعنوان " الجين الأنانى".

ورأيت أنا وليسلى أن ذلك الدنا الأنانى نشأ، فى حالات كثيرة منفصلة، كطفيليات دنا، كانت تثب من مكان إلى آخر فى الكروموسوم، تاركة نسخا من نفسها فى الدنا العائل. وبعد مرور وقت ما قد يكون كثير من تلك التتاليات قد أصبح بلا معنى بسبب الطفرة العشوائية، ثم تمت إزالته، بالتدريج عبر زمن طويل، بواسطة الخلية العائلة. وخلال ذلك قد تكون تتاليات طفيلية جديدة قد بدأت فى غزو الدنا العائل حتى تم أخيرا

التوصل إلى توازن تقريبى بين الدنا العائل والدنا الطفيلى. ويظل مطلوبا معرفة ما إذا كان ذلك صحيحًا أو لا.

واحتمال وجود مثل هذا الدنا الأنانى هو بالضبط ما يمكن توقعه من نظرية الانتخاب الطبيعى. ولا شك أنك على معرفة بفكرة الطفيلى، مثل الدودة الشريطية، لكنك قد لا تقبل للوهلة الأولى فكرة أن جزيئا قد يكون أيضا طفيليا يعيش فى كروموسوماتك، ولكن لما لا؟

تذكر أن وجود الإنترونات كان مفاجأة تامة تقريبا. لم يكن أحد قد افترض صراحة وجودها قبل توصل التجارب إليها صدفة. كان يمكن اكتشاف الإنترونات مبكرا إذا كانت متوافرة بشكل ملموس فى إى. كولاى أو الفاج. ولم يكن هناك شىء يذكر عنها فى الوراثة التقليدية، حتى فى كائن مثل الخميرة حيث كان قد تم إجراء بعض الرصد الوراثى مرتفع التحلل نسبيا. والأنترونات هى بالضبط نوع الأشياء التى تفتقد غالبا باستخدام طريقة الصندوق الأسود: أى، عندما يتم فحص الكائن دون النظر إلى داخل الكائن نفسه.

خلال تلك الفترة كتبت أيضا كتابا علميا، للقراء العاديين، حول أصل الحياة. وعرضت أنا وليسلى أورجيل، خلال حضورنا لقاء حول الاتصال بكائنات ذكية فى الفضاء (جى.إى.تى.آى) عقد بالقرب من يريفان فى أرمينيا السوفياتية فى سبتمبر ١٩٧١ ، فكرة احتمال أن الحياة على الأرض نشأت من كائنات مجهرية أرسلت هنا، على مركبة فضائية بدون ركاب، أرسلتها حضارة أكثر رقيا فى مكان ما. قادنا إلى تلك الفكرة حقيقتان. الأولى تماثل الشفرة الوراثية، الذى يشير إلى أنه فى مرحلة ما تطورت الحياة خلال تكدس قلة من السكان. والأخرى كانت حقيقة أن عمرالكون على ما يبدو يصل إلى أكثر من ضعف عمر الأرض، مما يتيح للحياة تطورا مضاعفا من بدايات بسيطة إلى ذكاء معقد.

أطلقنا على نظريتنا بانسبيرميا موجهة. وبانسبيرميا، مصطلح استخدمه للمرة الأولى عالم الفيزيائى السويدى سفانت أرهينياس، فى ١٩٠٧ ، للتعبير عن تدفق كائنات مجهرية إلى الأرض من خلال الفضاء لتبذر الحياة على الأرض. واستخدمنا

"موجهة" للدلالة على أن شخصا ما أرسل عن قصد الكائنات المجهرية إلى هنا بطريقة ما.

وتتمثل المشكلة الرئيسية فى كتابة كتاب شعبى عن أصل الحياة فى أنه بشكل رئيسى مسألة كيميائية _على الأغلب كيمياء عضوية. ولا يحب الجمهور العادى الكيمياء عادة. "أفهمه بالكامل" هكذا قالت أمى عن مجلة أعطيتها لها لتقرأها،" إلا ما يخص تلك الهيروغلوفية". ومن ناحية أخرى لم يكن موضوع كتابى عن كيفية حل مشكلة أصول الحياة لكنه كان يهدف إلى نقل بعض الأفكار عن كثير من أنواع العلوم المرتبطة بالمشكلة، والتى تتراوح بين علم الكون وعلم الفلك إلى البيولوجيا والكيمياء.

كان لدى أنا نفسى وجهة نظر مستقلة إلى حد ما عن البانسبيرميا الموجهة – وما زلت على نفس الرأى – حتى أنه كانت هناك صفحة فى الكتاب تشير إلى ما يجب أن تكون عليه النظرية الجيدة وكيف أنه من الواضح أن نظريتنا – رغم عدم إثباتها – حدسية إلى حد كبير. كان الكتاب الذى نشره سيمون وشوستير فى ١٩٨١، يحمل عنوان "طبيعة الحياة". وبينما اعتبرت هذا العنوان عام جدا بالنسبة لمحتوياته، أصر الناشر عليه.

ونعود إلى المخ. عندما قررت للمرة الأولى دراسته بالتفصيل ظننت أننى أعرف فعلا غالبية المشاكل تقريبا، على الأقل فى خطوطها العامة. فى كمبريدج كنت على معرفة بهوراس بارلو منذ عدة سنوات _تم تعريفى به عن طريق صديقنا جورج كريسيل، عالم الرياضيات _واستمعت إلى هوراس فى الخمسينيات خلال كلمة ألقاها فى نادى هاردى حول عين الضفدع، وعرض فيها افتراضاته حول "كاشفات الحشرات". واستمعت أيضا فى نادى هاردى إلى ألان هودجكين وأندرو هوكسلى وهما يعرضان علينا نموذجهما الشهير عن المحور العصبى المحتمل فى المحور العصبى لدى الحبار. وقابلت بعد ذلك عالم فيزيولوجيا الأعصاب دافيد هوبيل فى لقاء سريع تم تنظيمه فى ١٩٦٤ فى معهد سالك.

كان غرض ذلك اللقاء تعريف "زملاء سالك" بما يحدث فى مجال البيولوجيا العصبية؛ حيث كنا راغبين فى بعض التعيينات فى سولك فى تلك المجالات.

فى نفس اللقاء التقيت للمرة الأولى عالم الفسيولوجيا العصبية روجير سبيرى وعالم التشريح العصبى وال نوتا. ووصل عدد المحاضرين إلى نحو عشرة متكلمين، لكن لم يكن هناك سوى نحو عشرة من المستمعين؛ حيث إن سالك كان فى ذلك الوقت جديد نسبيا. ومع ذلك كان المستمعون مجموعة مهيبة، منهم مثلا، جاك مونود وعالم الفيزياء ليو سزيلارد. كان المستمعون نزاعون إلى الانتقاد حتى إن آخر المتحدثين كان يُرى مرتعدا عندما تقدم إلى المنصة. وكان أملى الوحيد أن يبدأ سالك العمل فى مجال البيولوجيا العصبية فى ذلك الوقت. وبينما جعلت الاعتبارات المالية من المستحيل إنجاز ذلك حينئذ، يتعامل نصف العمل حاليا مع البيولوجيا العصبية.

ما أسرع ما أدركت أن ما تعلمته كان قليلاً تماما؛ فبصرف النظر عن حقيقة أن عمل ضخم تم إنجازه فى مجالى التشريح العصبى والفسيولوجيا العصبية منذ ألقيت أولى نظراتى على هذين الموضوعين، كانت توجد مجالات كاملة، مثل علم النفس البدنى، الذى لا أعرف عنه شيئا البتة. (ليس علم النفس البدنى دين كاليفورنى جديد. إنه اصطلاح قديم لفرع من علم النفس يتعامل مع قياس رد فعل الشخص أو الحيوان للمدخلات الجسمانية، مثل : الضوء، الصوت، اللمس، ... إلخ).

إضافة إلى ذلك عرفت بوجود موضوع جديد أطلق على نفسه علم إدراكى. (قيل، بدرجة من الفظاظة، أن أى موضوع يحتوى على كلمة "علم" فى اسمه ليس من المرجح له أن يكون بهذا الوصف). كان العلم الإدراكى جزءاً من التمرد ضد السلوكية. ترى السلوكية أنه يجب فقط دراسة سلوك حيوان وعدم الالتفات إلى أى عمليات "عقلية" مفترضة لدى الحيوان، أو عمل نماذج لها. وأصبحت السلوكية المدرسة المهيمنة فى مجال علم النفس فى البداية المبكرة للقرن الحالى، خاصة فى أمريكا.

يرى أخصائيو العلم الإدراكى، وهو ما يناقض وجهات النظر ضيقة الأفق لدى السلوكيين، أنه من المهم عمل نماذج واضحة للعمليات العقلية، خاصة تلك التى تتم لدى البشر. وعلوم اللغة الحديثة جزء مهم من العلم الإدراكى؛ حيث إنها تقوم بهذا الدور بالضبط. ولا يوجد الكثير من الحماسة، على كل حال، للنظر داخل المخ الواقعى. ويميل كثير من علماء الإدراك إلى النظر إلى المخ على أنه مثل "صندوق أسود"، من الأفضل تركه مغلقا. وفى الحقيقة، "يعرّف" البعض العلم الإدراكى على أنه دراسات لا تضع فى

حسبانها أشياء مثل الخلايا العصبية. وفى العلم الإدراكى يكون الإجراء العادى عزل بعض الظواهر النفسية، عمل نموذج نظرى للعمليات العقلية المفترضة، ثم اختبار النموذج، بواسطة المحاكاة بالكمبيوتر، للتأكد من أنه يعمل تبعا لما افترضه واضعه. إذا كان يتوافق مع بعض الحقائق النفسية على الأقل يمكن حينئذ اعتباره نموذجا مفيدا. ولا يشغل بال أحد على ما يبدو حقيقة أن النموذج لا يرجح أن يكون بالأحرى النموذج الصحيح.

ووجدت ذلك بالغ الغرابة ومازلت أراه كذلك. خاصة ذلك الموقف الفلسفى لدى الوظائفى، الشخص الذى يعتقد أن دراسة الوظائف الحيوية لشخص أو حيوان بالغة الأهمية، وأنه يمكن دراستها، وحدها، بطريقة مجردة دون القلق من نوع الكسرات والقطع التى تنجز فعلا تلك الوظائف تحت الدراسة. ووجدت أن مثل ذلك الموقف منتشر بين علماء النفس، حتى إن بعضهم يذهب أبعد من ذلك بإنكار أن المعرفة الدقيقة بما يتم داخل الرأس قد يقول لنا بأية طريقة أى شىء مفيد بالمرة حول علم النفس. ويميلون إلى الضرب بعنف بقبضاتهم على المائدة لدعم مثل هذه القضايا.

وعند الضغط عليهم لمعرفة سبب تفكيرهم بتلك الطريقة، يقولون عادة إن كل ما يتعلق بالموضوع على درجة عالية من التعقيد حتى إنه لا يتوقع الحصول على أى شىء ذو قيمة من فحصه عن قرب. والإجابة الواضحة على ذلك أنه إذا كان الأمر بهذا التعقيد، كيف لهم أن يأملوا بأى شكل فى تحليل طريقة عمله بالاكتفاء بفحص مدخله ومخرجه، متجاهلين ما يحدث بينهما؟ والإجابة الوحيدة التى أملكها دائما عن مثل هذا السؤال أنه من الضرورى دراسة الكائنات الحية فى المستويات الأعلى، وأن دراسة الخلايا العصبية "فى حد ذاتها"، لن تحل أبدا مثل تلك المشاكل. وأنا مقتنع تماما بذلك، لكننى لا أستطيع القول بأنه من المبرر تجاهل الخلايا العصبية تماما. وليس من المفيد عادة أن يكون الإنسان مقيدا عند التعامل مع عمل بالغ الصعوبة.

وآرائى الخاصة هى النقيض التام لآراء الوظائفيين: " إذا أردت أن تفهم وظيفة ما، أدرس البنية"، وهذا ما كان متوقعا منى قوله فى زمن عملى فى البيولوجيا الجزيئية. (وأعتقد أننى كنت متوقد النشاط فى ذلك الزمن). وأرى أنه يجب على المرء أن يتعامل مع تلك المشاكل على "كل" المستويات، كما هو الأمر فى مجال البيولوجيا

الجزيئية. وعلم الوراثة، فى نهاية الأمر، هو موضوع مثل الصندوق الأسود. وكان الشىء المهم ضمه إلى الكيمياء الحيوية. وتكون الأنواع المهجنة فى الطبيعة عقيمة، لكن العكس فى المجال العلمى صحيح غالبا؛ فالموضوعات المهجنة تكون غالبا خصيبة بشكل مدهش، بينما إذا ظل الانضباط العلمى تاما إلى أقصى درجة فإن تلك الموضوعات تذوى عادة.

وإنه لحق، فى دراسة النظم المعقدة، أن المرء لا يمكنه حتى أن يفهم طبيعة المشكلة دون دراسة المستويات الأعلى من النظام، لكن "البرهنة" على أية نظرية حول المستويات الأعلى تحتاج عادة معلومات تفصيلية من المستويات الأدنى إذا كان المطلوب تأسيس هذه النظرية؛ بحيث تكون بعيدة عن أى شك مقبول. يضاف إلى ذلك، أن البيانات الاستكشافية من دراسة المستويات الأدنى تقدم غالبا طرقا مهمة فى تأسيس نظريات جديدة ذات مستوى _ أعلى. وفضلا عن ذلك، يمكن غالبا الحصول على معلومات مفيدة حول عناصر المستوى _ الأدنى من خلال دراستها لدى حيوانات أكثر بساطة، التى قد يكون من الأسهل العمل عليها. وقد يتوافر مثال لذلك فى العلم الراهن فى مجال آليات الذاكرة لدى اللافقرايات.

كانت مشكلتى الأولى أن أتخذ قرارا حيال نوع الحيوان الذى يجب أن أركز عليه. اختار بعض زملائى من علماء البيولوجيا الجزيئية حيوانات صغيرة أكثر بدائية. وكان سيدنى برينير، كما ذكرت، قد اختار دودة خيطية. اختار سيمور بينزير دراسة الوراثة السلوكية لدى ذبابة الفاكهة الصغيرة دروسوفيلا، جزئيا؛ لأنه كان قد تم فعلا إجراء كثير من الدراسات الوراثية عليها.

أدركت أن اهتمامى الرئيسى طويل المدى ينصب على مشكلة الوعى، رغم تأكدى من أنه قد يكون من الحماقة البدأ بها. الوعى أكثر ظهورا لدى الإنسان _أعرف على الأقل أننى واع ولدى الأسباب الكافية لأظن أنك أيضا كذلك. أما ما إذا كانت ذبابة الفاكهة واعية أو لا ؛ فهو أمر غير معروف. وتوجد، على أية حال، عوائق تجريبية مهمة للعمل فى مجال البشر؛ حيث يستحيل إجراء كثير جدا من التجارب لأسباب أخلاقية؛ لذلك بدا من المعقول التركيز على الحيوانات القريبة من الإنسان فى التطور، أى، الثدييات خاصة الرئيسيات _القردة والقردة الصغيرة.

كانت مشكلتى التالية اختيار بعض الجوانب الخاصة فى مخ الحيوان الثديى. وحيث إننى كنت أعرف القليل قررت اللجوء إلى أوضح الاختيارات والتركيز على جهاز الإبصار. والإنسان حيوان بصرى جدا (مثل القردة)، وتم إجراء كثير من الأبحاث فعلا على كثير من جوانب البصر.

كيف للمرء أن يدرس الإبصار لدى الإنسان بالعمل على القردة؟ المدخل الواضح أن يتم إجراء الدراسات الممكنة على الإنسان، ثم، بشكل مواز، دراسة بعض الأجهزة لدى القرد أو لدى حيوان آخر. وفى العمل فى مجال الإدراك الحسى، أصبحت ممارسة شائعة الآن استخدام مناظرات من دراسات جسمانية نفسية تفصيلية على الإنسان (إضافة إلى دراسات جسمانية نفسية أكثر بساطة على القردة) مصحوبة بكل المعلومات المتاحة فى مجال التشريح العصبى وفزيولوجيا الأعصاب على الجزء المناظر فى مخ القرد. وأحيانا يتم استخدام بعض المعلومات الأخرى من الإنسان، مثل الجهود المستثارة (نوع من موجات المخ) أو عمليات التصوير المتنوعة الأكثر تكلفة، لكن ما زالت هذه الوسائل حتى الآن أقل قدرة على التحليل، سيان فى المكان أو الزمان أو فيهما معا، مما يجعلها لهذا السبب تتيح لنا عادة معلومات أقل بكثير.

لهذا السبب كان جهاز الإبصار بالنسبة لبعض الأشخاص مثلى، جذابا؛ حيث إن قردا آسيويا (مكاك)، فى حدود معرفتنا، يرى بنفس طريقتنا فى الرؤية تقريبا. يوجد، بالطبع، بضع موضوعات أكثر أهمية لدينا من اللغة؛ حيث إنها أحد أهم الاختلافات الرئيسية بين الإنسان والحيوانات الأدنى. لسوء الحظ، ولنفس السبب بالذات، لا يوجد حيوان مناسب لمثل هذه الدراسات. وهذا سبب اعتقادى أن علوم اللغة الحديثة، رغم تعقدها، ستواجه بحائط صلد إذا لم يتم التوصل إلى أكثر مما هى عليه بكثير حول ما يحدث داخل رؤوسنا عندما نتكلم، نستمع أو نتحدث، ونقرأ. فإذا كانت اللغة شيئًا بمثل تعقد الإبصار (الذى يبدو أكثر تعقدا مما يتوقع)، ستكون فرصة معرفة الطريقة التى تعمل بها فعلا بدون الحصول على مزيد من المعومات قليلة تماما كما يبدو لى. ولا يثير الدهشة أن يرى علماء اللغة تلك المناظرة غير مقبولة.

وقررت أيضا، على الأقل فى بداية الأمر، عدم محاولة إجراء تجارب؛ فبغض النظر عن حقيقة أنها، من الناحية التقنية، تكون صعبة جدا فى أغلب الأحيان، رأيت أنه

يمكنني المساهمة بالكثير في الجانب النظرى. بدا لى أنه يمكنني إنجاز مهمة مفيدة بدراسة مشكلة الإبصار باستخدام أكثر عدد ممكن من وجهات النظر. كان أملى بناء جسور بين القواعد العلمية المتنوعة، التى يدرس كل منها المخ من خلال وجهة نظر أو أخرى. وكان لدى قليل من التوقع إلى حد ما فى أن أتوصل إلى أية أفكار نظرية جذرية فى مثل هذا العمر المتقدم، لكننى فكرت فى تفاعل مثمر مع العلماء الأقل عمرا. وعلى كل حال توقعت أن الموضوع قد يبرهن أنه مثير للاهتمام إلى أقصى درجة ، وأنه من حقى خلال ما تبقى لى من العمر أن أنجز أشياء لتسلية نفسى؛ حيث يمكن أن أتوصل إلى إنجاز مفيد بشكل عرضى.

وبعد أن قررت أنه يمكننى دراسة جهاز الإبصار لدى الثدييات، كانت خطوتى التالية اختبار الجانب الذى سأدرسه أولا. لم أحصل أبدا على تعليم طبى، لذلك كانت معرفتى بالتشريح العصبى منعدمة تقريبا. قررت أن أحل هذه المشكلة أولا حيث توقعت أن تكون الجزء الأكثر غموضا فى الموضوع، ولأنه يمكن أيضا، كما اعتقدت، إزاحتها من الطريق قبل الانتقال إلى موضوعات أخرى أكثر جاذبية.

ولدهشتى ما أسرع ما اكتشفت أن تشريح الأعصاب لم يشهد تطورا مهما. ويعود الفضل بشكل رئيسى إلى إدخال تقنيات كيميائية حيوية متنوعة أكثر بساطة، مما جعل من الممكن الآن اكتشاف كيفية اتصال المناطق المختلفة فى المخ مع بعضها البعض. يضاف إلى ذلك أن تلك التقنيات لم تكن قوية فقط، لكنها كانت مناسبة بدرجة معقولة أكثر من أغلب الطرق الأقدم منها. ولسوء الحظ لم يكن من الممكن استخدام أغلبها على الإنسان (لا يمكن للمرء، فى نهاية التجربة، أن "يضحى" بالطالب الخريج الذى كان موضوع التجربة، كما يحدث مع الحيوانات، لأسباب أخلاقية معروفة". وبذلك أصبحنا فى موقف غريب حيث نعرف الكثير عن الوصلات العصبية فى مخ قرد المكاك مقارنة بما نعلمه عنها فى المخ الإنسانى. وفى الواقع، سنعرف قريبا الكثير جدا عن الإطار العام للوصلات لدى المكاك، وعن الأماكن المختصة بالناقلات الكيميائية المختلفة ومستقبلاتها، وستكون الطريقة الوحيدة للتعامل مع كل تلك المعلومات الجديدة حفظها فى الكمبيوتر، بطريقة تتيح عرضها على هيئة رسم بيانى ملىء بالحيوية يسهل فهمه.

بدأتُ أولا بقراءة الأبحاث التجريبية وعروض الكتب والأبحاث. ولم أجد من الصعب الاقتراب ممن يجرون التجارب؛ حيث إننى كنت مهتم حقيقة بما يفعلون، وأننى قمت أولا ببذل بعض الجهد لاكتشف من خلال منشوراتهم ما ينوون عمله. وبهذه الطريقة أصبح لدى كثير من الأصدقاء الجدد، من الكثرة بحيث أعجز عن حصرهم هنا. وكنت محظوظا بمقابلة كثير من الأشخاص فى "لا لولا" مهتمين بالإبصار أو الجوانب النظرية فى الموضوع. وكانت مجموعة فى قسم علم النفس فى جامعة كاليفورنيا، سان دييجو، يترأسها بوب بويتون، تدرس بشكل رئيسى الجوانب النفسية البدنية للإبصار. ومن علماء الأبحاث النفسية البدنية الذين قابلتهم رون ماكلود وفى.إس. (راما) راماشاندران عندما جاء إلى سان دييجو من إرفين. وتعاملت أيضا مع مجموعة أخرى فى نفس القسم، كان يترأسها حينئذ دافيد روميلهارت وجاى مككليلاند، كانت تعمل فى المجال النظرى. وبعد فترة عيننى القسم بروفيسورا مساعدا فى علم النفس رغم معرفتى الواهية جدا بالموضوع.

وفى ١٩٨٠ جاء ماكس كووان إلى سولك، حيث أسس مجموعة كبيرة من علماء الأعصاب. وأجرى بعض هؤلاء العلماء، مثل ريتشارد أندرسين (وهو الآن فى مجلس الأبحاث الطبية) وسيمون ليفاى تجاربا على جهاز الإبصار. ورغم أن ماك غادر سولك فى ١٩٨٦ ، مازال لدى سولك اهتمام كبير بعلم الأعصاب كرسيين وجدد أخيرا لتوم ألبرايت وظيفته كعالم تجارب من برينسيتون.

وكانت النعمة الأخرى وصول الفيلسوفين الكنديين بول وبات شيرشلاند فى ١٩٨٤، ليحصلا على كرسيين فى قسم الفلسفة فى جامعة كاليفورنيا، سان دييجو. ومن النادر أن تجد فلاسفة يهتمون ولو من بعيد بالمخ، لذلك كان من العوامل المساعدة بشكل كبير أن تتوافر نصيحة شخصين لديهما اهتمام بالغ بالموضوع. كان كلاهما قد كتب بشكل جيد عن الاختزالية (وهى كلمة بغيضة لدى البعض، خاصة لهؤلاء الذين يعتبروننى رئيس الاختزاليين). وكتب بات فى وقت أكثر حداثة كتابا ضخما أطلق عليه "فلسفة الأعصاب"، نشره قسم برادفورد بوك فى مطبوعات مجلس الأبحاث الطبية، عارضا الجوانب الفلسفية، والنظرية، والتجريبية لوجهة نظرهم الجديدة. وكان عنوانه الفرعى "نحو علم موحد للمخ – العقل".

كان راماشاندران وجوردون شو (عالم الفيزياء فى يو.سى. إرفين) مشاركين فى نادى هيلمهولتز، على اسم عالم الفيزياء الألمانى فى القرن التاسع عشر الذى كان رائدا فى علم دراسة الإدراك الحسى. ويجتمع الأعضاء كل شهر تقريبا، يبدأون بتناول الغداء وينتهون بالعشاء، وبينهما كنا نحضر كلمتين لمحاضرين، فى موضوعات تكون مرتبطة غالبا بجهاز الإبصار. وكان ذلك الجدول يتيح وقتا طويلا للمناقشات. وكانت اللقاءات تعقد فى إرفين، وهى فى منتصف المسافة بين لوس أنجلوس وسان دييجو، بحيث يمكن للأعضاء والضيوف من حرم الجامعات الأخرى حضوره.

وليس ذلك المكان المناسب لأن أحاول عرض ما نعرفه الآن عن الجهاز البصرى الذى قد يحتاج على كتاب كامل على الأقل ؛ فما بالك ببقية المخ؟! وسوف ألزم نفسى بتعليقات أكثر عمومية. فى المقام الأول، ليس من الواضح لأغلب الناس سبب حاجتنا لدراسة البصر، حيث إننا نرى بهذه الدرجة من الوضوح، بدون جهد ظاهر، ما هى المشكلة؟ وإنه من المدهش معرفة أنه لتكوين تصورنا العقلى الحى عن العالم الخارجى، يستخدم المخ كثيرا من الأنشطة المعقدة (تسمى أحيانا تخمينات) التى يكون الإنسان على غير وعى بها غالبا.

استسلمنا جميعا بكل سهولة إلى "الفكرة الخاطئة حول القزم" _أنه يلتصق فى مكان ما بمخنا رجل صغير يراقب كل شىء يحدث. لا يعتقد فى تلك الفكرة أغلب علماء الأعصاب (سير جون إسليس يعتبر استثناء) ويرون أن تصورنا عن العالم وعن أنفسنا يعود كلية إلى وقود الخلايا العصبية والمواد الكيميائية الأخرى أو العمليات الكيميائية الكهربائية داخل أجسامنا؛ فكيف بالضبط تعطينا هذه الأنشطة تصورنا الحى عن العالم وعن أنفسنا وتتيح لنا أيضا أن نقوم بمهامنا، هذا هو ما نريد اكتشافه.

والوظيفة الرئيسية لجهاز الإبصار تكوين تصور فى رأسنا للأشياء فى العالم خارجنا. وتتحقق هذه المهمة من خلال الإشارات المعقدة التى تصل إلى شبكيات عيوننا. ورغم احتواء تلك الإشارات على كثير من المعلومات المتضمنة فيها ، يحتاج المخ إلى التعامل مع تلك المعلومات للتوصل إلى التصورات "الواضحة" التى تثير اهتمامه. وهكذا تتفاعل مستقبلات الصور فى عيوننا مع طول موجة الضوء المرتطم بها الآتى من شىء ما، لكن ما يهتم به المخ بشكل رئيسى هو مفهوم لون الشىء،

ويمكنه استخراج تلك المعلومات حتى فى أحوال مختلفة تماما للإضاءة على ذلك الشيء.

وحدث تطور لجهاز الإبصار لرصد تلك الجوانب الكثيرة فى العالم الواقعى، وهو أمر كان مهما، خلال التطور، لضمان البقاء، مثل التعرف على الطعام، الحيوانات المفترسة، والزوجة أو الزوج المحتمل. وله اهتمام خاص بالأشياء المتحركة. وسيكون التطور مولعا بالسمات التى تعطى معلومات مفيدة. وفى كثير من الحالات يكون على المخ أن ينجز عملياته بأسرع ما يمكن. والخلايا العصبية ذاتها بطيئة إلى حد ما فى طبيعتها الأساسية (مقارنة بالترانزستورات فى الكمبيوتر الرقمى)؛ لذلك يكون المخ منظما بطريقة تتيح له إنجاز كثير من "تخميناته" بأسرع ما يمكن. فكيف ينجز ذلك بالضبط هذا هو ما لم نفهمه بعد.

من السهل تماما إقناع أى شخص بأنه مهما كانت فكرته عن طريقة عمل مخه؛ فمن المؤكد أن مخه لا يعمل بهذه الطريقة. وقد ينجم سوء الفهم ذلك من تأثيرات تلف فى المخ، أو من التجارب النفسية البدنية على بشر أصحاء، أو باستعراض ما نعرفه عن مخ القردة. وما يبدو عملية متسقة وبسيطة هو فى الحقيقة نتيجة التفاعل المعقد بين الأجهزة، ما تحت الأجهزة، وما تحت _تحت الأجهزة. مثال لذلك، جهاز ما يحدد كيف نرى اللون، وآخر كيف نرى فى الأبعاد الثلاثة (رغم أننا نستقبل المعلومات فى بعدين فقط كل منهما من عين من عينينا)، وهكذا. وأحد ما تحت الأجهزة فى المثال السابق يعتمد على "الاختلاف" بين الصور فى عينينا، ويسمى الرؤية المجسمة. ويتعامل آخر مع الشكل المنظورى. ويستخدم آخر حقيقة أن الأشياء البعيدة تقابلها زاوية أصغر من تلك التى تقابلها عندما تكون أقرب لنا. وتتعامل أخرى مع الإخفاء (شيء ما يخفى جزء من الشيء الموجود خلفه)، الشكل من التظليل، وهكذا. وكل من تحت الأجهزة قد يحتاج أيضا إلى ما تحت الأجهزة ليؤدى عمله.

وتعطى كل الأجهزة عادة نفس الإجابة بالتقريب، ولكن باستخدام الخدع، مثل إنشاء مشهد مرئى مصطنع إلى حد ما، يمكننا وضعها معا لنتوصل إلى صورة مرئية خادعة. إذا نظر شخص، بعين واحدة من خلال ثقب صغير، إلى غرفة مؤسسة على منظورات خادعة، يمكن إعداد شيء فى جانب من الحجرة؛ بحيث يبدو أصغر من نفس

الشيء في الجانب الآخر. يطلق على مثل هذه الغرفة بالمقياس الطبيعي غرفة أميس، توجد في مستكشف (إكسبلوريتوريم) في سان فرانسيسكو. عندما كنت أنظر إليه كان بعض الأطفال يجرون على ما يبدو من ناحية إلى أخرى. بدوا كما لو كانت أطوالهم تزداد عندما يجرون إلى جانب ما وتتقلص من جديد عندما يعودون جريا إلى الجانب الآخر. كنت أعرف، بالطبع، تماما أن طول الأطفال لا يتغير بهذه الطريقة، لكن الخداع لم يكن مع ذلك إجباري تماما.

وتم تطوير مفهوم جهاز الإبصار كحقيبة خدع بواسطة راما راماشاندران، وتم ذلك بشكل رئيسي نتيجة دراساته النفسية البدنية الرائعة المخلصة. وأطلق على وجهة نظره نظرية المنفعية، وكتب عنها:

> لن أكون متكلفا بدرجة كبيرة إذا قررت أن الجهاز البصري يستخدم مجموعة مذهلة من الخدع المكيفة لأغراض معينة لأهداف خاصة وقياسات تقريبية لحل مشاكلها. إذا كان هذا الرأي المتشائم عن الإدراك صحيح، فإن وظيفة الباحثين في مجال الإبصار يجب أن تكون اكتشاف تلك القياسات وليس أن تعزو إلى الجهاز درجة من التعقيد التي ليست له ببساطة. والبحث عن مبادئ تعلو ذلك قد يكون ممارسة عبثية.

وينسجم هذا الرأي على الأقل مع ما نعرفه عن تنظيم لحاء قشرة الدماغ لدى القردة ومع فكرة فرانسوا جاكوب عن أن التطور سمكري. من الممكن، بالطبع، أن يوجد خلف كل تلك الخدع المتنوعة مجرد بعض قواعد التعليم الحسابية التي تنتج، بصفتها مبنية على البنيات البسيطة للوراثة، هذا التنوع المعقد من الآليات.

وكان الشيء الآخر الذي اكتشفته أنه رغم كثرة ما نعرفه عن سلوك الخلايا العصبية في أجزاء كثيرة من الجهاز البصري (على الأقل لدى القردة)، ليس لدى أحد حقا فكرة واضحة حول كيفية رؤيتنا الواقعية لأي شيء. وهذه الحالة التعيسة للموقف لا يتم ذكرها أبدا لدارسي الموضوع. ولعلماء وظائف الأعصاب بعض اللمحات حول كيفية فك المخ للصورة، كيف تتعامل بعض المناطق المنفصلة نسبيا في قشرتنا المخية مع الحركة، واللون، والشكل، والموضع في المكان، ... إلخ. وما لم يعرف بعد هو كيفية وضع المخ لكل ذلك معا ليعطينا صورة متكاملة عن العالم.

واكتشفت أيضا وجود جانب آخر من الموضوع لم يكن من المتوقع ذكره. كان ذلك هو الوعى. وفى الحقيقة كان الاهتمام بالموضوع ينظر إليه على أنه علامة اقتراب من الخرف. أدهشنى هذا التحريم جدا. كنت أعرف، بالطبع، أنه حتى وقت قريب يتم إجراء أغلب التجارب على الجهاز البصرى لدى الحيوانات عندما تكون فى حالة اللاوعى تحت تأثير المخدر، لذلك، بصراحة، لم تكن ترى شيئا بالمرة. وطوال كثير من السنوات لم يكن هذا الأمر يثير أكثر من اللازم قلق القائمين على التجارب؛ حيث إنهم وجدوا أن الخلايا العصبية فى المخ، حتى لو كانت تحت تلك الشروط المقيدة، تسلك بطريقة مثيرة أيضا. ويتم حاليا عمل أكثر على الحيوانات وهى مستيقظة. ورغم أن دراسة هذه الحيوانات أكثر صعوبة من الناحية الفنية، يوجد تعويض؛ حيث يتم إعادة الحيوانات إلى أقفاصها بعد يوم عمل عادى، ويمكن للقائمين على التجارب الذهاب إلى المنزل لتناول العشاء. وتتم دراسة مثل هذه الحيوانات عادة لعدة أشهر قبل ذبحها. (قد تتطلب التجارب على الحيوانات المخدرة براعة أكثر بكثير ؛ حيث إنها تستمر عادة ساعات كثيرة جدا لدراسة مقطع، فور ذبح الحيوان). ومن اللافت للنظر نسبيا، أنه يصعب إجراء تجربة حتى الآن على "نفس" نوع الخلايا العصبية، على "نفس" الحيوان، أولا وهو مستيقظ ثم بعد ذلك تحت تأثير المخدر.

لم يكن علماء وظائف الأعصاب هم وحدهم الكارهين للحديث حول الوعى؛ فنفس الأمر صحيح بالنسبة لعلماء علم النفس البدنى وعلماء الإدراك. ومنذ عام أو نحو ذلك نظم عالم النفس جورج ماندل مجموعة من الحلقات الدراسية فى قسم علم النفس فى جامعة كاليفورنيا فى سان دييجو. وأوضحت الحلقات أنه بالكاد كان يوجد إجماع حول طبيعة المشكلة، فما بالك بحلها. وبدا على أغلب المتحدثين أنهم يعتقدون فى عدم وجود حل فى المستقبل القريب، وتكلموا فقط حول الموضوع. وكان دافيد زيبسير (عالم بيولوجيا سابق آخر يعمل الآن فى جامعة كاليفورنيا سان دييجو) فقط هو الذى يفكر بطريقتى، أنه من المرجح أن يتضمن الوعى آلية خاصة من نوع ما، ربما تكون موزعة بين قرن آمون ومناطق كثيرة فى القشرة الدماغية، وأنه ليس من المستحيل اكتشافها بالتجربة أو على الأقل اكتشاف الطبيعة العامة للآلية.

ومن اللافت للنظر إلى حد ما، أنه فى مجال البيولوجيا يحدث أحيانا أن تكون تلك المشاكل الأساسية التى تبدو بالغة الصعوبة قابلة للحل بسهولة شديدة، ذلك لأنه قد

تكون الحلول الممكنة قليلة جدا أو حتى ضئيلة، ويحدث أحيانا أن يؤدى إحداها بشكل حاسم إلى الحل الصحيح. (مثال لهذه المشكلة تمت مناقشته فى الفصل الثالث). والمشاكل البيولوجيا التى يصعب تحليلها حقا هى تلك التى تتواجد لها غالبا مالا نهاية له من الحلول المقبولة وعلى المرء أن يحاول جاهدا التمييز بينها.

وتتمثل إحدى العقبات الرئيسية فى الدراسة التجريبية للوعى فى أنه فى الوقت الذى يمكن للأشخاص إبلاغنا بما يعونه (ما إذا كانوا، مثلا، قد فقدوا فجأة رؤية اللون ولا يرون الآن سوى درجات الرمادى)، فإنه لأمر أكثر صعوبة الحصول على تلك المعلومات من القردة.

وفى الواقع، "يمكن" تدريب القردة بعد جهد كبير الضغط على مفتاح عند رؤيتها لخط رأسى وعلى آخر إذا رأت خطا أفقيا، لكن فى الوقت الذى يمكننا أن نطلب من البشر "تخيل" اللون، أو تخيل أنهم يهزون أصابعهم، من الصعب تعليم القردة فعل ذلك. ويبقى أنه يمكننا فحص ما فى داخل رأس القردة للحصول على تفاصيل أكثر بكثير مما يمكن فعله فى رأس إنسان. من هنا ليس الحصول على "نظرية" ما عن الوعى أمر غير مهم، مهما كانت تلك النظرية غير نهائية، لتكون مرشدا للتجارب على كل من البشر والقردة. وأشك فى أن يكون الوعى فاعلا بدون وجود جهاز ذاكرة بعيدة المدى نشط دائما لكنه لا يستغنى عن ذاكرة قصيرة المدى تماما. ويطرح ذلك تلقائيا أن يفحص المرء الأسس الجزيئية والخلوية للذاكرة قصيرة المدى تماما، وهو موضوع مهمل إلى حد ما، ويمكن إجراء ذلك على الحيوانات، حتى على الحيوانات الأقل تكلفة والبسيطة نسبيا مثل الفأر.

وماذا عن *النظرية*؟ من السهل التوصل إلى أن النظرية تعتبر ضرورية؛ حيث إن أى تفسير للمخ سيحتوى على نشاط عدد ضخم من الخلايا العصبية تتفاعل معا بطرق معقدة. يضاف إلى ذلك أن هذه المنظومة غير خطية بدرجة كبيرة، وليس من السهل التوصل إلى تخمين مضبوط حول كيفية سلوك أى نموذج معقد.

اكتشفت سريعا أن كثيرا من العمل النظرى كان قيد الإنجاز. كان يقترب من أن يكون مهجورا لدى عدد من المدارس المنفصلة، كان كل منها كارهًا إلى حد ما للاقتباس

من الآخرين، وهذه صفات عادية للموضوع الذى لا يؤدى إلى نتائج محددة. (قد تكون الفلسفة واللاهوت مثالا جيدا لذلك). جددت معرفتى بعالم النظريات دافيد مار (الذى قابلته فى الأصل فى كمبريدج) عندما أتى مع عالم نظريات آخر، توماسو (تومى) بوجيو، إلى سولك وقضى نحو شهر فى أبريل ١٩٧٩ للمحاضرة حول الجهاز البصرى. واحسرتاه، توفى دافيد، فى عمر مبكر فى الخامسة والثلاثين، لكن تومى (الموجود حاليا فى مجلس الأبحاث الطبية) ما زال حيا وبصحة جيدة، وأصبح من أقرب الأصدقاء. وفى آخر الأمر قابلت كثيرا من علماء النظريات فى مجال المخ (وإنهم من الكثرة بحيث لن أحصيهم هنا)، كثيرا منهم خلال الذهاب إلى اللقاءات. وعرفت بعضهم بشكل أفضل من خلال الزيارات الشخصية.

وكان كثير من ذلك العمل النظرى حول الشبكات العصبية _أى على نماذج تتفاعل من خلالها مجموعات من الوحدات بطرق معقدة لتؤدى بعض الوظائف المرتبطة، عن بعد إلى حد ما فى كثير من الأحوال، ببعض جوانب علم النفس.

وتم إنجاز كثير من العمل حول كيفية اكتساب القدرة على دراسة تلك الشبكات، باستخدام قواعد بسيطة _أنظمة العد العشرية **algorithms** التى أوصى بها علماء النظريات.

ويوضح كتاب صدر أخيرا من جزئين، يحمل عنوان "المعالجات الموزعة على التوازى" (**PDP**)، الكثير من العمل الذى تم إنجازه من خلال مدرسة واحدة لعلماء النظريات، مجموعة سان دييجو وأصدقائهم. أعده دافيد روميلهارت (حاليا فى ستانفورد) وجاى مككليلاند (حاليا فى كارنيجى - ميلون) ونشرته كتب برادفورد. ومع ضخامة هذا الكتاب، الذى يعتبر كتابا أكاديميا إلى حد ما أثبت أنه من أفضل الكتب مبيعا. وكانت هذه النتائج باهرة حتى أن طريقة معالجات (**PDP**) كان لها تأثير الصدمة على كل من علماء النفس والعاملين فى مجال الذكاء الصناعى، خاصة هؤلاء الذين يحاولون إنتاج جيل جديد من أجهزة الكمبيوتر عالية التوازى. ويبدو أنها ستصبح الموجة الجديدة فى علم النفس.

ولا شك أنه تم التوصل إلى نتائج واعدة جدا. مثال لذلك، يمكننا إدراك كيف يمكن لشبكة عصبية أن "تخزن" أنماط تشغيل متنوعة "لخلاياها العصبية" وكيف يمكن لأى جزء صغير من أحد الأنماط (الصفيرة) أن يستدعى النمط كاملا. وكيف يمكن أيضا تلقين هذه المنظومة بالتجربة لتتعلم قواعد ضمنية (كما يتعلم الطفل أولا قواعد نحو اللغة الإنجليزية بشكل ضمنى، دون أن يكون قادرا على توضيحها بشكل بيّن). ومثال لتلك الشبكة، ما يطلق عليه نيتتوك NetTalk, التى أعدها تيرى سيجنوفسكى وتشارلز روسينبيرج، وتظهر بشكل رائع كيف يمكن لتلك الماكينة، بالتجربة، أن تتعلم نطق نص مكتوب بالإنجليزية بشكل صحيح، حتى ذلك الذى لم تره من قبل أبدا. وقدم تيرى، الذى كنت أعرفه جيدا، شرحا رائعا لتلك الماكينة ذات يوم خلال مأدبة فى كلية سوكل. (وتحدث عنها أيضا فى عرض "توداى"). ولا "تفهم" تلك الماكينة ماذا تعنى القراءة. ولا يكون نطقها أبدا صحيحاً بشكل كامل، ويعود ذلك جزئيا إلى أن النطق، فى الإنجليزية، يعتمد أحيانا على المعنى.

ورغم ذلك لدى تحفظات حول العمل الذى تم حتى الآن. أولا، أن "الوحدات" المستخدمة تكون لأغلبها عادة خواص تبدو غير واقعية. مثال لذلك، أن وحدة منفردة يمكنها إنتاج استثارة فى بعض أطرافها وكبح فى أطرافها الأخرى. وتوضح معلوماتنا الحالية عن المخ، المحدودة على نحو لا يمكن إنكاره، أن ذلك نادر حتى لو حدث، على الأقل فى اللحاء الجديد فى المخ. من هنا يصبح مستحيلا اختبار كل تلك النظريات على المستوى البيولوجى العصبى ؛ حيث إنها تفشل تماما عند الاختبار الفعلى الأول الأكثر وضوحا. وعن ذلك يجيب النظريون بأنهم يمكنهم بسهولة تعديل نماذجهم لجعل تلك الجوانب أكثر واقعية، لكنهم لا يزعجون أنفسهم بذلك الأمر عمليا. ويشعر المرء بأنهم لا يريدون حقا معرفة ما إذا كان نموذجهم صحيح أو لا.

إضافة إلى ذلك، أكثر الطرق الحسابية قوة بالعد العشرى المستخدمة حاليا (التى يطلق عليها حساب الامتداد الخلفى Back propagation algorithm) تبدو أيضا غير مرجحة بدرجة كبيرة من وجهة النظر البيولوجية العصبية. ويبدو لى أن كل محاولات التغلب على تلك الصعوبة قسرية تماما. ويجب أن أقر مرغما بأن تلك النماذج ليست نظريات حقيقية بل بالأحرى "تفسيرات". إنها أسلوب يبرهن على أن الوحدات التى

تشبه إلى حد ما الخلايا العصبية يمكنها فى الواقع أن تنجز أشياء مدهشة، لكن من الصعوبة القول بأنها توضح أن المخ يعمل فعليا بنفس الطريقة التى تشير إليها.

بالطبع، يمكن فعلا استخدام تلك الشبكات وحساباتها فى تصميم جيل جديد من أجهزة الكمبيوتر المتوازية. وتبدو المشكلة التقنية الرئيسية هنا فى العثور على بعض الطرق الدقيقة لجمع توصيلات "قابلة للتعديل" على رقائق السليكون، لكن تلك المشكلة من المحتمل حلها قريبا.

ويوجد نقدان آخران يوجهان لأغلب تلك النماذج عن شبكة الخلايا العصبية: أولهما أنها لا تعمل بالسرعة الكافية. وتعتبر السرعة مطلبا مهما بالنسبة للحيوانات كما هو الحال بالنسبة لنا. ومازال علماء النظريات فى حاجة لإعطاء السرعة وزنها التى تستحقه. ويتعلق النقد الثانى بالعلاقة. قد يكون إعطاء مثال مفيد هنا. تخيل أنه يتم عرض حرفين -أى حرفين- بسرعة على شاشة، أحدهما فوق الآخر. والمطلوب معرفة أيهما الأعلى. (أشار إلى هذه المشكلة بشكل مستقل عالما النفس ستيوارت سوثيرلاند وجيرى فودور). ويتم إجراء هذه التجربة فى النماذج القديمة، بالعملية المستخدمة عادة فى أجهزة الكمبيوتر الرقمية الحديثة، لكن محاولات إنجازها بالمعالجة بالتوزيع المتوازى قد تكون آلية "انتباه". من المرجح أن يكون الانتباه عمليات "متسلسلة" تتم فى قمة عمليات المعالجات الموزعة "PDP عالية التوازى.

ويعتبر جزء من المشكلة النظرية فى علم الأعصاب أنه يقع فى مكان ما بين المجالات الأخرى؛ ففى أحد الأطراف نجد هؤلاء الباحثون الذين يعملون مباشرة فى مجال المخ، هذا هو العلم الذى يحاول اكتشاف تلك التجهيزات التى تستخدمها الطبيعة فعلا. وفى الطرف الآخر نجد الذكاء الصناعى ، هذه هى الهندسة ، موضوعها إنتاج الجهاز الذى يعمل بالطريقة المطلوبة. والمجال الثالث الرياضيات. لا تهتم الرياضيات لا بالعلم ولا بالهندسة (إلا كمصدر للمشاكل) لكنها تهتم فقط بالعلاقة بين كينونات تجريدية.

لذلك فإن العاملين فى مجال نظرية المخ ينجذبون إلى اتجاهات عدة. يجعلهم التكبر الفكرى يشعرون بأن عليهم التوصل إلى نتائج عميقة وقوية رياضيا وقابلة أيضا

للتطبيق على المخ. وليس هذا محتمل الحدوث إذا كان المخ تركيب معقد حقا لخدع أكثر بساطة تطورت بالانتخاب الطبيعي. وإذا لم تساهم فكرة يتصورونها في تفسير المخ، قد يأمل واضعوا النظريات أنها قد تكون مفيدة في مجال الذكاء الصناعي؛ لذلك ليس لديهم دافع قهري يضغط عليهم باستمرار حتى يتم الكشف عن الطريقة الفعلية التي يعمل بها المخ. والأكثر طرافة إنتاج برامج كمبيوتر "مثيرة" وأكثر سهولة للحصول على منح من هذا العمل، حتى إنه يوجد احتمال من إمكانية حصولهم على بعض المال إذا أمكن استخدام أفكارهم في أجهزة الكمبيوتر. ولن تفيد في هذه الحالة وجهة النظر الشائعة حول أن علم النفس علم "رخو soft" ، الذي نادرا ما ينتج أو حتى لا ينتج أبدا نتائج حاسمة، لكنه يتعثر من بدعة نظرية إلى بدعة أخرى تالية. ولا يرغب أحد في طرح سؤال حول ما إذا كان نموذجا ما صحيح أو لا؛ حيث إنهم، لو فعلوا ذلك، قد ينتهي أغلب العمل إلى التوقف.

أتمنى القول إن مجهوداتي لها شأن كبير. من خلال التفكير في الشبكات العصبية اخترعت أنا وجريم ميتشيسون في ١٩٨٣ سببا جديدا لوجود حركة - العين- السريعة (REM في النوم، رغم أن مجموعتين أخريين فكرا بشكل مستقل في نفس الآلية. وإنه لأمر مرح إلى درجة كبيرة إلقاء محاضرة حول هذا الموضوع؛ حيث إن كل شخص تقريبا مهتم بالنوم والأحلام. ألقيت المحاضرة أمام علماء فيزياء (بما فيهم قسم الأبحاث في شركة نفط)، نواد نسائية، مدرسين في مدارس ثانوية، وأيضا أمام عاملين في أقسام أكاديمية. وجوهر الفكرة أنه من المرجح أن تكون الذكريات مخزونة في مخ الحيوان الثديي بطريقة مختلفة تماما عن تلك التي يتم بواسطتها التخزين في منظومة الحشو أو في الكمبيوتر الحديث. ويعتقد على نطاق واسع، أن الذكريات في المخ تكون "موزعة" وأيضا متراكمة إلى حد ما. وأوضحت عمليات المحاكاة أن ذلك لا يسبب مشكلة ما إلا إذا أصبحت المنظومة زائدة التحميل، وفي هذه الحالة يمكن أن تقذف نكريات مزيفة. وفي كثير من الأحوال تكون تلك الذكريات مزيجا من الذكريات المخزونة التي لها صفات عامة.

وتذكرني تلك الذكريات الممتزجة فورا بالأحلام، وأيضا ما أطلق عليه فرويد التلخيص. مثال لذلك، عندما نرى في الحلم شخصا ما، يكون الشخص في الحلم

مزيجا من شخصين أو ثلاثة متشابهين إلى حد ما؛ لذلك رأيت أنا وجريم أنه فى حالة نوم "REM" (التى يطلق عليه أحيانا نوم الحلم)، توجد آلية تصحيح تلقائية تعمل على الإقلال من هذا التشوش المحتمل فى الذكريات. ورأينا أن تلك الآلية هى السبب الأصلى لأحلامنا، التى يكون أغلبها، بالمصادفة، غير قابل للتذكر بتاتا. وحول ما إذا كانت تلك الفكرة صحيحة أو لا ؛ فهذا أمر سيتضح مع الوقت.

كتبت أيضا ورقة حول القواعد العصبية للانتباه، لكنها كانت أيضا حدسية إلى حد بعيد.

ومازلت أحاول إنجاز أية نظرية تكون غير مسبوقة وتفسر أيضا كثيرا من الحقائق التجريبية المنفصلة بطريقة مقنعة.

وبالعودة إلى الوراء، يمكننى أن أتذكر كم كان غريبا عثورى على ذلك المجال الجديد. ولا شك أنه، بالمقارنة بالبيولوجيا الجزيئية، يعتبر علم المخ حالة عكسية فكريا. والتقدم فيه أكثر بطئا. يمكن رؤية ذلك بملاحظة استخدام كلمة حديثا. كانت "حديثا" تعنى فى الدراسات الكلاسيكية (اللاتينية والإغريقية) خلال العشرين سنة الماضية. وتعنى عادة فى بيولوجيا الأعصاب وعلم النفس خلال السنوات الخمس الماضية، فى حين أنها تعنى فى البيولوجيا الجزيئية الحديثة خلال الأسابيع القليلة الماضية.

ويحتاج حل مشكلة المنظومة المعقدة إلى ثلاثة مداخل رئيسية. يمكن التعامل مع كل منها على حدة مع تمييز كل أجزائها الصغيرة المنفصلة _مما تتكون وكيف تعمل؟ ثم يمكن للمرء التوصل بالضبط إلى موقع كل جزء فى المنظومة بالنسبة إلى كل الأجزاء الأخرى وكيف تتفاعل مع بعضها البعض. وليس من المرجح أن يكشف هذان المدخلان بالضبط، فى حد ذاتهما، كيفية عمل المنظومة. وللوصول إلى ذلك تجب أيضا دراسة سلوك المنظومة ومكوناتها مع التدخل الرقيق فى أجزائها المختلفة، لمعرفة تأثير مثل هذا التغيير على السلوك على كل المستويات. وإذا استطعنا فعل كل ذلك فى أمخاخنا الخاصة سنعرف كيف تعمل فى وقت وجيز تماما.

يمكن للبيولوجيا الجزيئية وبيولوجيا الخلية أن تساهما بشكل حاسم فى كل تلك المداخل الثلاثة. والمدخل الأول تم فعلا. مثال لذلك، تم فعلا عزل جينات عدد من

الجزيئات المهمة، وتم تمييزها، وإنتاج منتجاتها حتى يمكن دراستها بمزيد من السهولة. وتم إحراز تقدم قليل فى المدخل الثانى، لكن مازال هناك حاجة لإنجاز المزيد. مثال لذلك، قد يكون مفيدا وجود تقنية حقن لخلية عصبية مفردة بطريقة تجعل كل الخلايا العصبية المتصلة بها (هذه الخلايا بالذات وليس غيرها) مميزة.

ويحتاج المدخل الثالث أيضا إلى طرق جديدة، خاصة أن الطرق المعتادة فى استئصال أجزاء من المخ بالغة الفجاجة. مثال لذلك، يمكن كبح نشاط نوع واحد من الخلايا العصبية فى منطقة واحدة من المخ، ويفضل أن يكون ذلك بشكل قابل للانعكاس. يضاف إلى ذلك ، الحاجة إلى مزيد من الطرق الدقيقة الفعالة لدراسة السلوك، لدى الحيوان كاملا وأيضا مجموعات من الخلايا العصبية. وتتطور البيولوجيا الجزيئية بسرعة بالغة حتى إنه سيكون لها قريبا تأثير ضخم على كل جوانب البيولوجيا العصبية.

طلب منى فى صيف ١٩٨٤ أن ألقى كلمة أمام المؤتمر الأوروبى السابع عن الإدراك البصرى فى كمبريدج، فى إنجلترا. وكانت تلك أحد مناسبات ما بعد العشاء حيث يتوقع أن يتسلى الإنسان، وأن يتعلم أيضا. أنهيت كلمتى بالإشارة إلى أنه خلال عمر جيل واحد يتوقع أن يعمل أغلب الباحثون فى أقسام علم النفس فى "علم النفس الجزيئى". وكان يمكننى ملاحظة تعبيرات الإنكار التام على أوجه أغلب الحاضرين. "إذا لم تقبل ذلك" هكذا قلت "انظر ما حدث لأقسام "البيولوجيا". يعمل أغلب العلماء فى تلك الأقسام فى أيامنا هذه فى "البيولوجيا الجزيئية"، بينما كان ذلك منذ جيل مضى موضوعا معروفا للاختصاصيين فقط". تغير إنكارهم إلى إدراك لما قلت. هل هذا ما يختزنه المستقبل؟ يشير العامان الماضيان إلى أن بدء هذا التوجه قد حدث فعلا (مثلا، العمل الحالى فى مجال مستقبل إن.إم.دى.إيه للجلوتامات وعلاقته بالذاكرة).

تذكرنى الحالة الراهنة لعلوم المخ بحالة البيولوجيا الجزيئية وعلم الأجنة فى العشرينات والثلاثينات. تم اكتشاف كثير من الأمور المثيرة، وكل عام يتم إحراز تقدم مستمر على كثير من الجبهات، لكن المشاكل الرئيسية مازالت على نطاق واسع تنتظر الحل وغير مرجح أن تحصل على الحل بدون تقنيات جديدة وأفكار جديدة. نضجت

البيولوجيا الجزيئية فى الستينيات فى حين يكاد علم الأجنة أن يبدأ فى أن يكون مجالا على درجة جيدة من التطور. ومازال أمام علوم المخ طريقا طويلا لتقطعه، لكن جانبية الموضوع وأهمية الحلول ستدفعها حتما إلى الأمام. ومن المهم فهم أمخاخنا بشىء من التفصيل إذا كان علينا أن نملأ عن جدارة موقعنا فى هذا الكون الشاسع المعقد الذى نراه حولنا.

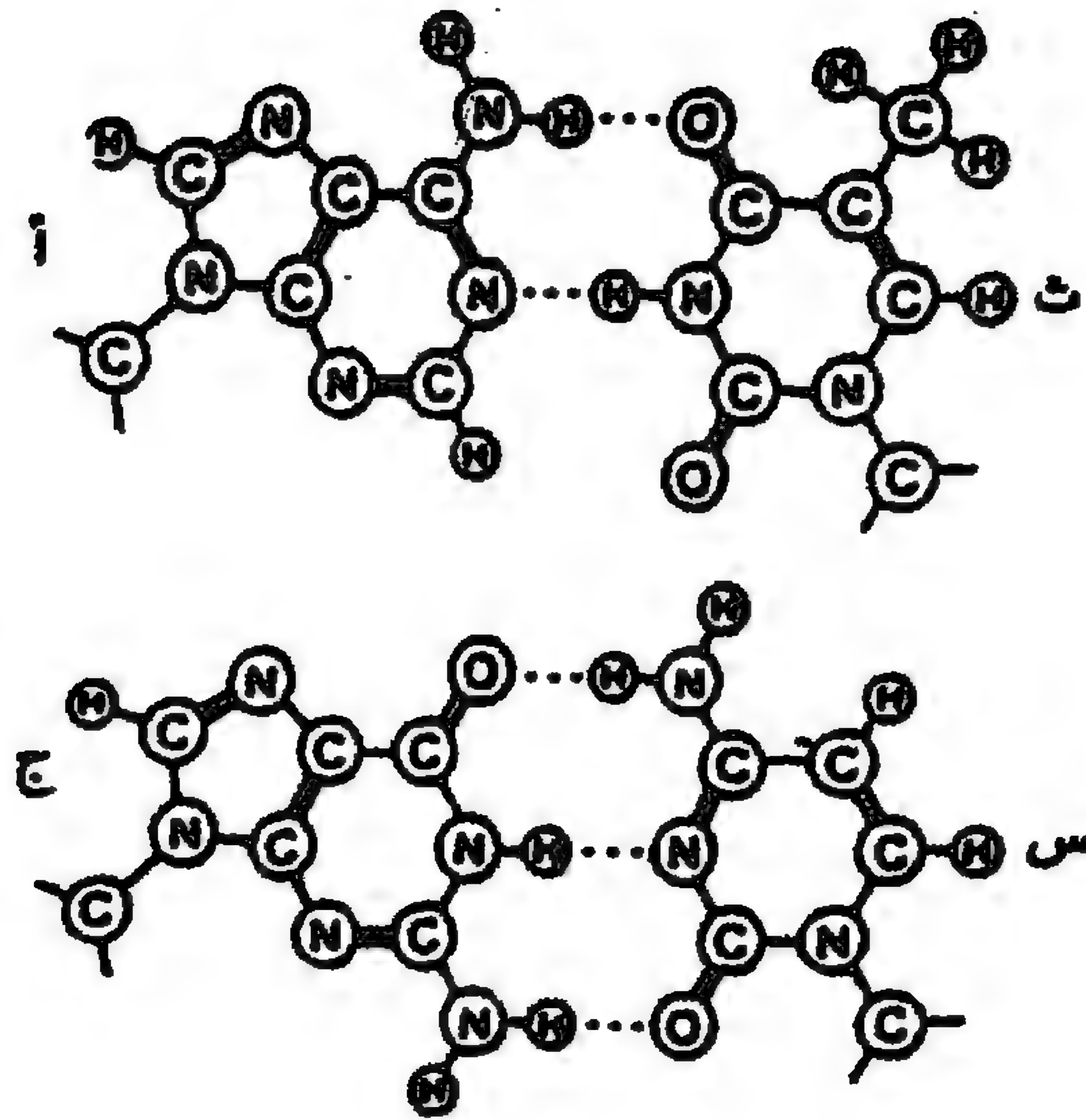
ملحق "أ"

موجز مختصر عن البيولوجيا الجزيئية الكلاسيكية

يعتبر الحامض النووى المادة الوراثية لدى كافة الكائنات الحية فى الطبيعة. ويوجد نوعان من الحامض النووى: الدنا (اختصار لحامض دى أوكسى ريبونيوكلييك) والرنا شديد الارتباط به (اختصار لحامض ريبونيوكلييك). وتستخدم بعض الفيروسات الصغيرة الرنا لجيناتها، وتستخدم كل الكائنات الحية والفيروسات الأخرى الدنا. (قد تكون الفيروسات المتأخرة **Slow viruses** استثناء من ذلك).

وكل من جزيئات الدنا والرنا طويلة ونحيلة، وتكون طويلة جدا أحيانا. والدنا بوليمر، ذو عمود فقرى منتظم، وله مجموعات فوسفات وسكر متناوبة (ويسمى السكر رايبوز منتزع منه الأكسيجين"ديوكسيريبوز").

ويلتصق بكل مجموعة سكر مجموعة جزيئية صغيرة تسمى قاعدة. وتوجد أربعة أنواع رئيسية من القواعد، تسمى أ (أدينين)، وج (جوانين)، وث (ثايمين)، و س (ستيوزين). (أ و ج كل منهما بروين، و ث و س كل منهما بيريميدين). وينقل "نظام" تلك القواعد عبر أى مقطع جزيئى للدنا المعلومات الجينية. وكان إروين شارجاف قد اكتشف فى ١٩٥٠ أنه فى الدنا المأخوذ من كثير من المصادر المختلفة تكون كمية أ مساوية لكمية ث، وكمية ج مساوية لكمية س. ويعرف هذا الانتظام بقواعد شارجاف.



شكل أ ـ ١

زوجا القواعد: أ = ث و ج ≡ س للقواعد: أ ـ أدينين، ث ـ ثايمين، ج ـ جوانين، س ـ سيتوزين. وللذرات: ـ C كربون، ـ N نتروجين، ـ O أكسيجين، ـ H هيدروجين.

ويشبه الرنا الدنا من ناحية البنية، عدا أن السكر مختلف اختلافا بسيطا (رايبوز بديلا عن ديوكسيريبوز) وبديلا عن ث يوجد ى (يوراسيل). (الثايمين نفسه عبارة عن ٥ ميثيل ـ يوراسيل). وهكذا، يتم استبدال الزوج أ ث بالزوج المشابه تماما أ ى.

ويوجد الدنا عادة على شكل لولب مزدوج، له سلسلتان محددتان تلتفان حول بعضهما البعض حول محور مشترك. ومن المدهش أن السلسلتين تمتدان فى اتجاهين "متضادين". أى أنه إذا كان تتالى الذرات على العمود الفقرى لسلسلة يمتد إلى أعلى فإن التتالى الآخر يمتد إلى أسفل.

وعلى كل المستويات تكون القواعد على هيئة أزواج، أى أن كل قاعدة على سلسلة تكون متزاوجة مع القاعدة المواجهة لها على السلسلة الأخرى. وتكون أزواج محددة فقط هى المحتملة الوجود، وهى:

ث = أ

أ = ث

ج ≡ س

س ≡ ج

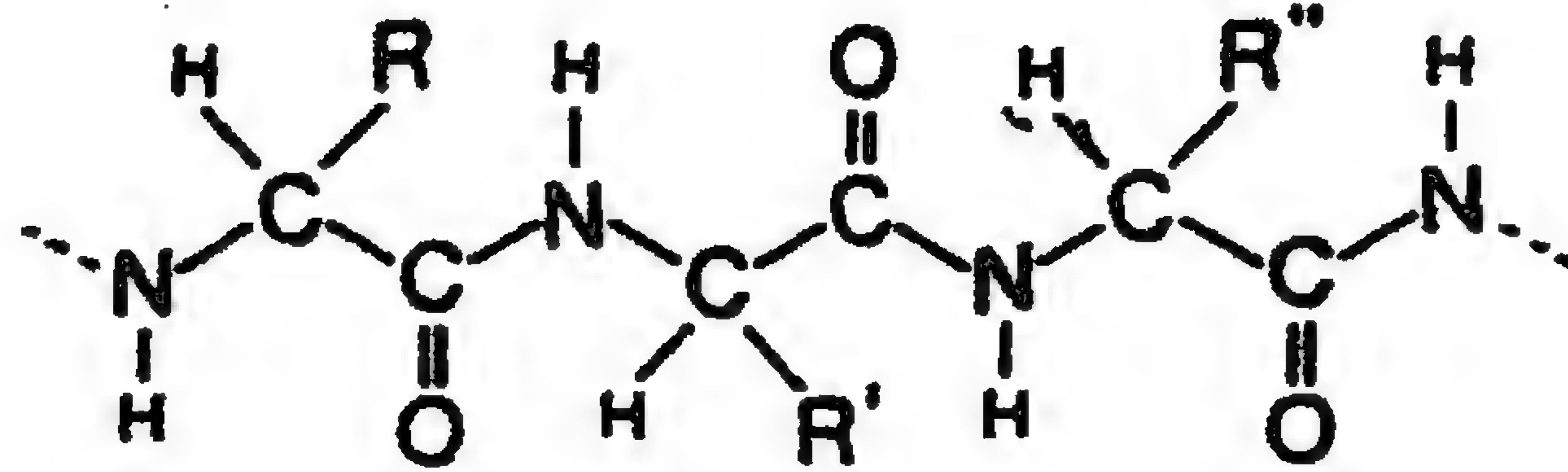
وصيغتها الكيميائية موضحة فى الشكل أ _١. وتتماسك تلك القواعد معا بروابط ضعيفة، تسمى روابط هيدروجينية، تمثل كل رابطة بشرطة. وهكذا يكون للزوج أ ث رابطتى هيدروجين، وللزوج ج س ثلاثة منها. وهذا التزاوج بين القواعد هو أهم سمة فى البنية.

ولنسخ الدنا، تفك الخلية السلاسل، وتستخدم كل سلسلة منفردة كقالب للاسترشاد به فى عملية تكوين سلسلة رفيقة جديدة. بعد اكتمال تلك العملية يكون لدينا لولبان مزدوجان، يحتوى كل منهما على سلسلة قديمة وأخرى جديدة وحيث أن قواعد السلاسل الجديدة يجب أن يتم اختيارها لتتفق مع قواعد التزاوج (أ مع ث، و ج مع س)، ينتهى الأمر بوجود لولبين مزدوجين، كل منهما متطابق من ناحية تتالى القواعد مع اللولب الذى بدأنا به. وباختصار، تكون آلية الازدواج الدقيقة القاعدة الجزيئية لما يشبه التوالد. والعملية الواقعية تكون أكثر تعقيدا مما تم عرضه فى هذا الملخص.

الوظيفة الرئيسية للحامض النووى التشفير للبروتين. وجزىء البروتين هو أيضا بوليمر، بعمود فقرى منتظم (يسمى سلسلة عديد الببتيد) ومجوعات جانبية ملتصقة عبر مسافات منتظمة. وكل من العمود الفقرى والسلاسل الجانبية للبروتين مختلفة تماما من الناحية الكيميائية عن العمود الفقرى والمجموعات الجانبية للحامض النووى. من ناحية آخرى، يوجد عشرون مجموعة جانبية مختلفة فى البروتينات، مقارنة بأربع فقط فى الحامض النووى.

والصيغة الكيماوية العامة لعديد الببتيد موضحة فى الشكل أ _٢. ترتبط "السلاسل الجانبية" على نقاط عليها علامات R, R′, R″ ... إلخ. والصيغ الكيماوية المضبوطة لكل من السلاسل الجانبية العشرين المختلفة معروفة ، ويمكن العثور عليها فى أى كتاب مدرسى عن الكيمياء الحيوية.

يتم تكوين كل سلسلة ببتيد بتجميع جزيئات صغيرة تسمى أحماضًا أمينية، مع بعضها البعض، الرأس فى الذيل. والصيغة العامة لأى حامض أمينى موضحة فى الشكل أ – ٣، حيث R تمثل السلسلة الجانبية التى تختلف عن أى من السلاسل العشرين السحرية. خلال هذه العملية يتم طرد جزىء ماء مع كل عملية تجميع. (الخطوات الكيميائية الفعلية أكثر تعقيدا عن هذا الوصف العام البسيط).



شكل أ – ٢

الصيغة الكيميائية الأساسية لسلسلة عديد ببتيد (ثلاثة تكرارات بالتقريب موضحة). C كربون، N نتروجين، _ O أكسيجين، _ H هيدروجين.

R", R', R السلاسل الجانبية المختلفة (R يمثل الفضلة).

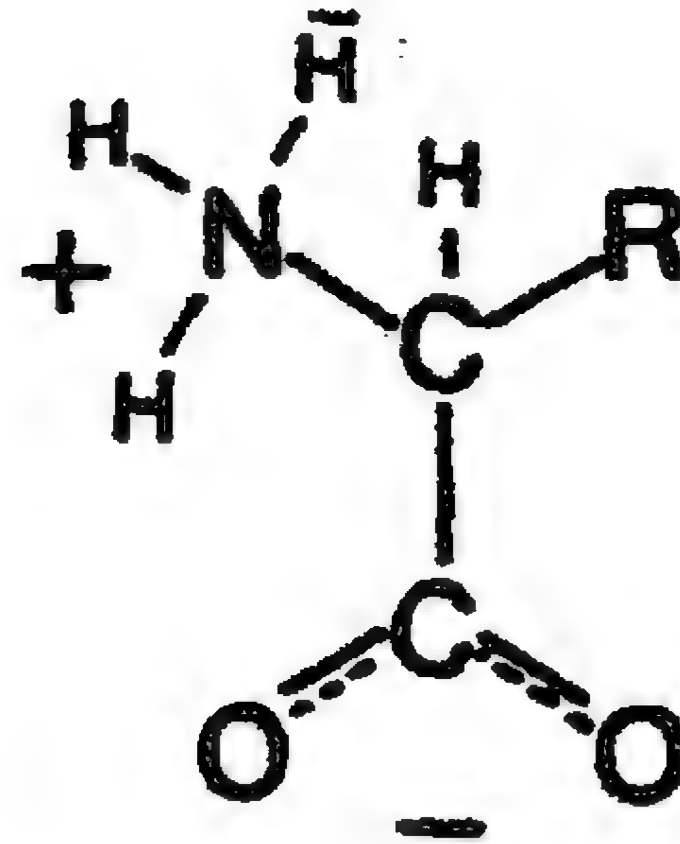
تعتبر كل الأحماض الأمينية التى تدخل فى تركيب البروتينات (باستثناء الجليسين) أحماضا أمينية مياسرة، بينما تسمى المعاكسة فى صور المرآة ميمنة. ويشير هذا المصطلح إلى الشكل ذى الأبعاد الثلاثة حول ذرة الكربون العليا فى الشكل أ – ٣.

يتم تركيب البروتين على جهاز يعتبر قطعة معقدة من الكيمياء الحيوية، يسمى ريبوسوم، تساعده مجموعة من جزيئات الرنا الصغيرة يطلق عليها الرنا الناقلة وعدد من الإنزيمات الخاصة. ويتم الحصول على معلومات التتالى من نوع من جزىء الرنا يطلق عليه الرنا المرسال. وفى أغلب الحالات يكون هذا الرنا المرسال، وهو وحيد _ الضفيرة، مصنوعا كنسخة من مقطع خاص من الدنا، باتباع قوانين ازدواج القواعد. وينتقل الريبوسوم عبر قطعة من الرنا المرسال، ليقرأ تتالى قواعدها فى مجموعات ثلاثة معا، كما هو موضح فى الملحق ب. وتكون العملية ككل دنا ~~> رنا مرسال ~~> بروتين، حيث الأسهم المذبذبة توضح الاتجاه الذى تنتقل خلاله معلومات التتالى.

مما يجعل الأمر أكثر تعقيدا أن كل ريبوسوم يتكون ليس فقط من مجموعة كبيرة من جزيئات البروتين، لكن أيضا من عدة جزيئات رنا، اثنان منها كبيران إلى حد ما. وليست جزيئات الرنا هذه رسلا، وتعتبر جزءًا من بنية الريبوسوم.

بعد تركيب سلسلة عديد الببتيد، تلتوى حول نفسها لتصبح البنية المعقدة فى الأبعاد الثلاثة التى يحتاجها البروتين لأداء وظيفته بالغة التميز.

وتكون البروتينات بكل الأحجام. وقد يمتد طول النمونجى منها إلى عدة مئات من المجموعات الجانبية. وهكذا فإن الجين يكون غالبا مقطعا من الدنا، ونمونجيا يكون طوله نحو ألف أو أكثر من أزواج - القواعد، ويشفر لسلسلة عديد ببتيد واحدة. ويتم استخدام الأجزاء الأخرى من الدنا كمتتاليات تحكم، لتساهم فى تشغيل جينات خاصة أو لإيقاف تشغيلها.

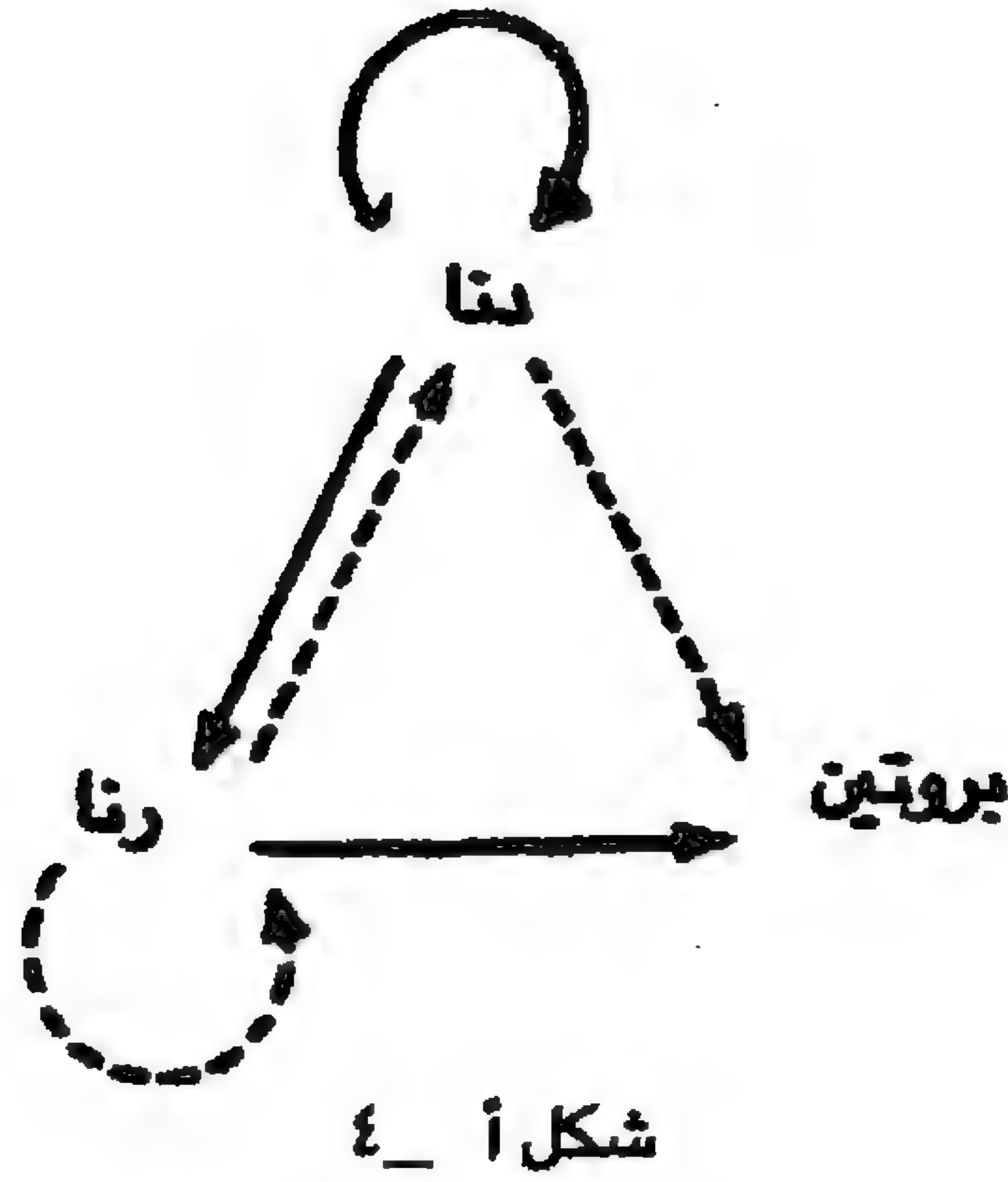


شكل أ ـ ٣

الصيغة العامة لحامض أميني. المجموعة الأمينية هى NH_3^+ مجموعة الحامض هى COO^- والمجموعة الجانبية التى تختلف من حامض أمينى إلى آخر، يرمز إليها ب R .

C – الكربون، N – النتروجين، O – الأكسجين، H – الهيدروجين.

قد يصل طول الحامض النووى لفيروس صغير إلى نحو ٥٠٠٠ قاعدة، ويشفر لحفنة من البروتينات.



شكل أ _٤

شكل يوضح المبدأ الأساسى. تمثل الأسهم التنقلات المختلفة لمعلومات التتالى. الأسهم غير المنقطة توضح التنقلات الشائعة. توضح الأسهم المنقطة التنقلات النادرة. لاحظ أن التنقلات غير الموجودة هى تلك التى قد تبدأ من البروتين.

ولدى الخلية البكتيرية على الأرجح نحو مليون قاعدة على دناها، تكون جميعا فى الغالب فى قطعة دائرية. وتشفر لعدة آلاف من الأنواع المختلفة من البروتين. وخلاياك الخاصة تأخذ نحو ثلاثة مليارات قاعدة من أمك ونفس الرقم من أبيك، وتشفر لنحو ١٠٠٠٠٠ نوع من البروتين. وفى السبعينيات تم اكتشاف أن دنا الكائنات الأعلى قد يحتوى على مقاطع طويلة من الدنا (يوجد بعضها "داخل" الجينات، ويطلق عليها إنترونات ولا تبدو لها وظيفة).

وما يطلق عليه المبدأ الأساسى هو فرضية إجمالية تحاول التنبؤ بأى التنقلات لمعلومات التتالى "لا يمكن" أن تحدث. وهى تناظر الأسهم غير الموجودة فى الشكل أ – ٤. التنقلات الشائعة موضحة بالأسهم غير المنقطة، والنادرة بالمنقطة. لاحظ أن الأسهم غير الموجودة تمثل كل التنقلات الممكنة "من" البروتين.

وتم شرح التنقلات الشائعة سابقا.

ومن التنقلات النادرة يتم استخدام التنقل رنا ~> رنا بواسطة بعض رنا الفيروسات، مثل فيروس الإنفلونزا وفيروس شلل الأطفال. والتنقل رنا ~> دنا

(النسخ العكسى) يتم استخدامه بما يطلق عليه رنا الفيروسات الارتجاعية. مثال لذلك فيروس الإيدز. ويعتبر التنقل دنا ~> بروتين فلتة. وفى أحوال خاصة فى أنبوب الاختبار، يمكن لدنا نو جديلة ـوحيدة أن يعمل كمرسال، لكنه من غير المحتمل أن يحدث ذلك فى الطبيعة.

ملحق "ب"

الشفرة الوراثية

الشفرة الوراثية هى القاموس الذى يربط بين لغة الأحرف الأربعة للأحماض النووية (أ، ج، ث، و س للدنا، وفى الرنا تحل ى محل ث) ولغة الأحرف العشرين للبروتينات.

وتشفر مجموعة ثلاثة أحرف متجاورة، التى يطلق عليها كودون، لحامض أمينى. (يوجد إجماليا ٤× ٤× ٤ = ٦٤ كودونا). ويتم تشفير أغلب الأحماض الأمينية بأكثر من كودون واحد. إضافة إلى ذلك يوجد ثلاثة كودونات بهدف "نهاية السلسلة".

ويتم توضيح الشفرة الوراثية عادة كما هو معروض فى الجدول ب – ١. وقد يبدو الجدول للوهلة الأولى مربكا إلى حد ما، لكنه فى الأساس بسيط جدا. الصيغة الكيميائية الدقيقة لكل حامض أمينى معروفة. مثال لذلك، يسمى أحد تلك الأحماض فالين. لجعل قراءة الجدول أكثر سهولة يتم اختصار فالين إلى Val .، ويتم نفس الشىء بالنسبة للهستيدين، وهو اسم أحد الأحماض الأمينية؛ حيث يكتب His . يمكن قراءة القواعد الثلاث لكل ثلاثية لكل مدخل إلى الجدول. القاعدة الأولى مكتوبة على الشمال، الثانية أعلى الجدول، والثالثة على اليمين. من هنا تمكن معرفة أن الفالين Val يتم تشفيرة بواسطة ج ى ى، ج ى س، و ج ى ج، فى حين يكون فى الهستيدين His الكودونات س أ ى و س أ س. والكودونات الثلاثة لإنهاء سلسلة عديد الببتيد (توقف STOP) هى ى أ أ، ى أ ج، و ى ج أ. وتسمى النهاية اليسرى لسلسلة الرنا أو الدنا، كما تكتب عادة النهاية ٥ والنهاية اليمنى النهاية ٣، لأسباب كيميائية.

الحرف الأول (النهاية ٥)	الحرف الثانى				الحرف الثالث (النهاية ٣)
	ى	س	أ	ج	
ى	Phe	ser	tyr	cys	ى
	phe	ser	tyr	cys	س
	leu	ser	stop	stop	أ
	leu	ser	stop	trp	ج
س	Leu	pro	his	arg	ى
	leu	pro	his	arg	س
	leu	pro	gin	arg	أ
	leu	pro	gin	arg	ج
أ	Ile	thr	asn	ser	ى
	ile	thr	asn	ser	س
	ile	thr	lys	arg	أ
	met	thr	lys	arg	ج
ج	Val	ala	asp	gly	ى
	val	ala	asp	gly	س
	val	ala	glu	gly	أ
	val	ala	glu	gly	ج

الجدول ب – ١

يبدو أن الشفرة هى نفسها بالضبط لكل النباتات والحيوانات العليا التى تمت دراستها حتى الآن. فى حين تم التوصل إلى اختلافات ثانوية، خاصة بالنسبة لدنا بعض الحبيبات الخيطية، وهى عضيات تعيش فى سيتوبلازم الكائنات الحية الأعلى وفى بعض أنواع الفطر.

اختصارات

ى	يوراسيل (للدنا، يقرأ ث "ثايمين" بديلا عن ى)
س	سيتوزين
أ	أدينين
ج	جوانين

Ala	Alanine	Lys	Lysine
Arg	Arginine	Met	Methionine
Asn	Asparagine	Phe	Phenylalanine
Asp	Aspartic acid	Pro	Proline
Cys	Cysteine	Ser	Serine
Gln	Glutamine	Thr	Threonine
Glu	Glutamic acid	Trp	Tryptophan
Gly	Glycine	Tyr	Tyrosine
His	Histidine	Val	Valine
Ile	Isoleucine		
Leu	Leucine		

Stop تعنى "نهاية السلسلة"

أوجه شكرى إلى:

بدأت هذا الكتاب بناء على اقتراح لمؤسسة سلون، وأحمل لدعمها النبيل لى كل امتنان ، وتلقيت الاقتراح عن طريق ستيفين وايت فى ١٩٧٨ . الذى أقنعنى بالتوقيع على منكرة الاتفاق الأولية ، لكننى كنت بطيئا جدا فى الشروع فى الكتابة. وكان من الممكن أن أستمر فى هذه الحالة إلى مالانهاية، لولا ساندرا بانيم، التى تولت إدارة برنامج الكتاب فى ١٩٨٦ . وأحبت ساندرا فكرة الكتاب كما تبلورت لدىّ، وأنجزتُ المسودة الأولى يحفزنى تشجيعها المتحمس لى. ويعود تنقيح هذا العمل وتوسيعه - بدرجة كبيرة - إلى التعليقات التفصيلية لساندرا بانيم، إضافة إلى التعليقات المماثلة للجنة مستشارى سلون. وتلقيت مساعدات أيضا من تعليقات مارتين كيسلير، وريتشارد ليمان سميث، وبول جولوب ، ومن "باسيك بوكس" ، ومن محررة مادة الكتاب ديبرا مانيت، التى نقحت لغتى الإنجليزية فى مواضع كثيرة. وأقدم شكرى أيضا لرون كاب، ويات شيرشلاند، ومايكل كريك، وأوديل كريك، فى. إس. (راما) راماشاندران، وليزلى أورجيل، وجيم واطسون، الذين قدموا إلىّ جميعا تعليقات مفيدة على مسودة أو أخرى من المسودات المبكرة.

وعن كتابتى لبقية الكتاب، لا أتعمد شكر من كانوا من أقرب رفاقى فى هذا العمل، والذين كان لهم بالغ الأثر علىّ. وليس علىّ هنا أن أسجل أسماء أصدقائى وزملائى الكثيرين، لكن ثلاثة منهم يستحقون الإشادة كل على حدة. ويوضح نص الكتاب كم أنا مدين لجيم واطسون بالكثير، ولن أوفى الحق لصحبتى الطويلة المثمرة جدا لسيدنى برينير، كان أقرب زملائى إلىّ خلال أكثر من عشرين عاما، وجرت بيننا خلال هذه المدة حوارات علمية طويلة عن أغلب عملنا اليومى. وكان اتصافه بالوضوح، والآراء القاطعة والحماس المثمر سببا فى أنه أصبح زميلا مثاليا لى. وأنا مدين أيضا

لجورج كريسيل، الرياضى المنطقى، الذى كنت أخاطبه دائما باسمه الأخير رغم أننا كنا نعرف بعضنا البعض منذ نحو خمسة وأربعين عاما. وعندما قابلت كريسيل كنت مفكرا لم يكتمل فكره بعد، ودفعتنى قوة وصرامة عقله برقة ، ولكن بثبات لأن أفكر بشكل أكثر صرامة وأكثر دقة، وانبثق عدد كبير من طرق تفكيرى المميزة منه. وبدون هؤلاء الأصدقاء الثلاثة كانت مهنتى العلمية ستختلف تماما.

ودينى الكبير الآخر يعود إلى أسرتى. ولا يرجع ذلك فقط إلى أنهم شجعونى لأن أصبح عالما ، لكنهم ساعدونى أيضا ماليا. وقدم والداى تضحيات كبيرة لمساعدتى للسفر للالتحاق بالمدرسة الداخلية، خاصة خلال فترة الكساد، ولم يكتف عمى أرثر كريك وزوجته بمساعدتى ماليا عندما كنت طالبا فى الدراسات العليا فى جامعة كوليدج، لكنهما أعطيانى مالاً لشراء منزلنا الأول. وقدمت لى خالتى إثيل، إضافة إلى تعليمى القراءة، دعما ماليا عندما ذهبت للمرة الأولى إلى كمبريدج بعد الحرب، كما فعلت أمى. وساعدت أيضا فى تعليم ابنى مايكل. وعندما كان ما أملكه من المال قليلا فى شبابى، كنت مطمئنا لعلمى بأن لدى ما يكفى للعيش، بفضل أقاربى.

وخلال أغلب الفترة التى تغطيها الفصول الرئيسية فى هذا الكتاب كنت أعمل فى كمبردج لدى المجلس البريطانى للأبحاث الطبية. وأعبر عن شكر خاص لهم، خاصة لسير هارولد هيمسوورث (سكرتير المجلس حينئذ) لشروط العمل الجيدة لديهم التى أتاحوها لى ولزملائى.

وعلىّ أيضا أن أعبر عن عرفانى بالجميل للجهة التى أعمل فيها حاليا، معهد سولك للدراسات البيولوجية، خاصة مديره الدكتور فريدريك دى هوفمان، لإتاحته لى العمل فى مثل هذه الشروط المبهجة المحفزة للعمل.

وخلال إنجازى لهذا الكتاب كنت مشغولا بدراسة المخ. وأشكر مؤسسة كيكهيفير، مؤسسة تطوير سيدنى، ومؤسسة نوبل، على دعمها المالى لمجهوداتى.

وأشكر محرر "نيتشر" لسماحه لى بالاقتباس بإسهاب تام من مقالتى بعنوان "اللولب المزدوج: وجهة نظر شخصية" المنشورة فى ٢٦ أبريل ١٩٧٤ ، وأكاديمية نيويورك للعلوم لسماحها بالاقتباس الواسع من مقالة لى بعنوان "كيف تعيش مع لولب

ذهبى" التى ظهرت فى "ساينس" عدد سبتمبر ١٩٧٩ ، وريتشارد واوكينز وبدبليو. دبليو. نورتون آند كامبانى للسماح باستخدام عدة صفحات من كتابه "صانع الساعات الأعمى" الذى نشر فى ١٩٨٦ ، فى. إس. (راما) راماشاندران ووكالة أنباء جامعة كمبريدج لإتاحتهما لى اقتباس فقرة من فصله " التفاعل بين الحركة، والعمق، واللون، والشكل، والنسيج: النظرية المنفعية للإدراك" الذى سينشر قريبا فى "فيجن، كودينج، أند إفيكاسى" تحرير كولين بلاكمور وجيمى سيمون للرسومات.

وفى النهاية، أقدم بالغ شكرى لسكرتيرتى بيتي (ماريا) لانج، التى تغلبت – بشكل ممتاز – على عدد جم من المصاعب الناجمة عن كثير من النسخ المعدلة المتتالية وكل الأعمال الروتينية المملة المصاحبة لإنجاز أى مخطوطة قبل طباعتها.

المؤلف

فرانسيس هارى كريك

- عالم بيولوجى فيزيائى بريطانى ولد فى ٨ يونيو عام ١٩١٦

- حصل على جائزة نوبل عام ١٩٦٢ ، مشاركة مع العالمين جيمس واطسون وموريس ويلكيتر ، تقديرا لمشاركتهم فى اكتشاف المادة الوراثية المسئولة عن التحكم فى وظائف الحياة (الدنا) .

- عمل فى تطوير الألغام البحرية المغناطيسية والصوتية خلال الحرب العالمية الثانية .

- عمل باحثا فى جامعة كمبريدج ، وبدأ أبحاثه حول المخ فى ١٩٧٧ فى معهد سولك فى كاليفورنيا .

- له كثير من المؤلفات والأبحاث ، منها كتاب "طبيعة الحياة" ترجمة د . أحمد مستجير (عالم المعرفة - مايو ١٩٨٨) .

المترجم

عزت عامر

- مهندس طيران متخرج من كلية الهندسة جامعة القاهرة عام ١٩٦٩

- محرر علمي ومترجم عن الإنجليزية والفرنسية ، ينشر في العديد من المجلات والصحف العربية .

- ينشر مقالات علمية بانتظام في مجلة "العربي" الكويتية .

- عمل محرراً لصفحة العلم والتكنولوجيا في صحيفة "العالم اليوم" المصرية ومسئولاً عن العلم والتكنولوجيا ومحرر صفحة طبية في صحيفة "الاقتصادية" السعودية .

- له تحت الطبع ترجمة لكتاب كارل ساجان "بلايين وبلايين" في المجلس الأعلى للثقافة في مصر .

- نشر تغطيات صحافية عن مؤتمرات علمية وطبية في مصر والسعودية ودبي والنمسا وبلجيكا .

- نشر له ديوانان "مدخل إلى الحدائق الطاغورية" و"قوة الحقائق البسيطة" ومجموعة قصصية "الجانب الآخر من النهر" .

المشروع القومى للترجمة

المشروع القومى للترجمة مشروع تنمية ثقافية بالدرجة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التى حققتها مشروعات الترجمة التى سبقته فى مصر والعالم العربى ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .

٢- التوازن بين المعارف الإنسانية فى المجالات العلمية والفنية والفكرية والإبداعية .

٣- الانحياز إلى كل ما يؤسس لأفكار التقدم وحضور العلم وإشاعة العقلانية والتشجيع على التجريب .

٤- ترجمة الأصول المعرفية التى أصبحت أقرب إلى الإطار المرجعى فى الثقافة الإنسانية المعاصرة، جنباً إلى جنب المنجزات الجديدة التى تضع القارئ فى القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .

٥- العمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .

٦- الاستعانة بكل الخبرات العربية وتنسيق الجهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .

المشروع القومى للترجمة

١ - اللغة العليا (طبعة ثانية)	جون كوين	ت : أحمد درويش
٢ - الوثنية والإسلام	ك. مادهو بانيكار	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣ - التراث المسروق	جورج جيمس	ت : شوقى جلال
٤ - كيف تتم كتابة السيناريو	انجا كاريتنكوفا	ت : أحمد الحضرى
٥ - ثريا فى غيبوبة	إسماعيل فصيح	ت : محمد علاء الدين منصور
٦ - اتجاهات البحث اللسانى	ميلكا إفيتش	ت : سعد مصلوح / وفاء كامل فايد
٧ - العلوم الإنسانية والفلسفة	لوسيان غولدمان	ت : يوسف الأنطكى
٨ - مشعلو الحرائق	ماكس فريش	ت : مصطفى ماهر
٩ - التغيرات البيئية	أندرو س. جودى	ت : محمود محمد عاشور
١٠ - خطاب الحكاية	چيرار چينيت	ت: محمد معتصم وعبد الجليل الأزدى وعمر حلى
١١ - مختارات	فيسوافا شيمبوريسكا	ت : هناء عبد الفتاح
١٢ - طريق الحرير	ديفيد براونيستون وايرين فرانك	ت : أحمد محمود
١٣ - ديانة الساميين	روبرتسن سميث	ت : عبد الوهاب علوب
١٤ - التحليل النفسى والأدب	جان بيلمان نويل	ت : حسن المودن
١٥ - الحركات الفنية	إدوارد لوسى سميث	ت : أشرف رفيق عفيفى
١٦ - أثينة السوداء	مارتن برنال	ت : بإشراف / أحمد عتمان
١٧ - مختارات	فيليب لاركين	ت : محمد مصطفى بدوى
١٨ - الشعر النسائى فى أمريكا اللاتينية	مختارات	ت : طلعت شاهين
١٩ - الأعمال الشعرية الكاملة	چورج سفيريس	ت : نعيم عطية
٢٠ - قصة العلم	ج. ج. كراوثر	ت: يمنى طريف الخولى / بدوى عبد الفتاح
٢١ - خوخة وألف خوخة	صمد بهرنجى	ت : ماجدة العنانى
٢٢ - مذكرات رحالة عن المصريين	جون أنتيس	ت : سيد أحمد على الناصرى
٢٣ - تجلى الجميل	هانز جيورج جادامر	ت : سعيد توفيق
٢٤ - ظلال المستقبل	باتريك بارندر	ت : بكر عباس
٢٥ - مثنوى	مولانا جلال الدين الرومى	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦ - دين مصر العام	محمد حسين هيكل	ت : أحمد محمد حسين هيكل
٢٧ - التنوع البشرى الخلاق	مقالات	ت : نخبة
٢٨ - رسالة فى التسامح	جون لوك	ت : منى أبو سنه
٢٩ - الموت والوجود	جيمس ب. كارس	ت : بدر الديب
٣٠ - الوثنية والإسلام (ط٢)	ك. مادهو بانيكار	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣١ - مصادر دراسة التاريخ الإسلامى	جان سوفاجيه - كلود كاين	ت : عبد الستار الحلوجى / عبد الوهاب علوب
٣٢ - الانقراض	ديفيد روس	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٣٣ - التاريخ الاقتصادى لأفريقيا الغربية	أ. ج. هوبكنز	ت : أحمد فؤاد بلبع
٣٤ - الرواية العربية	روجر آلن	ت : حصة إبراهيم المنيف
٣٥ - الأسطورة والحداثة	بول . ب . ديكسون	ت : خليل كلفت

٣٦ – نظريات السرد الحديثة	والاس مارتن	ت : حياة جاسم محمد
٣٧ – واحة سيوة وموسيقاها	بريجيت شيفر	ت : جمال عبد الرحيم
٣٨ – نقد الحداثة	آلن تورين	ت : أنور مغيث
٣٩ – الإغريق والحسد	بيتر والكوت	ت : منيرة كروان
٤٠ – قصائد حب	آن سكستون	ت : محمد عيد إبراهيم
٤١ – ما بعد المركزية الأوربية	بيتر جران	ت : عاطف أحمد / إبراهيم فتحى / محمود ماجد
٤٢ – عالم ماك	بنجامين باربر	ت : أحمد محمود
٤٣ – اللهب المزدوج	أوكتافيو پاث	ت : المهدى أخريف
٤٤ – بعد عدة أصياف	ألدوس هكسلى	ت : مارلين تادرس
٤٥ – التراث المغدور	روبرت ج دنيا – جون ف أ فاين	ت : أحمد محمود
٤٦ – عشرون قصيدة حب	بابلو نيرودا	ت : محمود السيد على
٤٧ – تاريخ النقد الأدبى الحديث جـ١	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤٨ – حضارة مصر الفرعونية	فرانسوا دوما	ت : ماهر جويجاتى
٤٩ – الإسلام فى البلقان	هـ . ت . نوريس	ت : عبد الوهاب علوب
٥٠ – ألف ليلة وليلة أو القول الأسير	جمال الدين بن الشيخ	ت : محمد برادة وعثمانى الميلود ويوسف الأنطكى
٥١ – مسار الرواية الإسبانو أمريكية	داريو بيانويبا وخ. م بينياليستى	ت : محمد أبو العطا
٥٢ – العلاج النفسى التدعيمى	بيتر . ن . نوفاليس وستيفن . ج . روجسيفيتز وروجر بيل	ت : لطفى فطيم وعادل دمرداش
٥٣ – الدراما والتعليم	أ . ف . ألنجتون	ت : مرسى سعد الدين
٥٤ – المفهوم الإغريقى للمسرح	ج . مايكل والتون	ت : محسن مصيلحى
٥٥ – ما وراء العلم	چون بولكنجهوم	ت : على يوسف على
٥٦ – الأعمال الشعرية الكاملة (١)	فديريكو غرسية لوركا	ت : محمود على مكى
٥٧ – الأعمال الشعرية الكاملة (٢)	فديريكو غرسية لوركا	ت : محمود السيد ، ماهر البطوطى
٥٨ – مسرحيتان	فديريكو غرسية لوركا	ت : محمد أبو العطا
٥٩ – المحبرة	كارلوس مونييث	ت : السيد السيد سهيم
٦٠ – التصميم والشكل	جوهانز ايتين	ت : صبرى محمد عبد الغنى
٦١ – موسوعة علم الإنسان	شارلوت سيمور – سميث	مراجعة وإشراف : محمد الجوهرى
٦٢ – لذّة النّص	رولان بارت	ت : محمد خير البقاعى .
٦٣ – تاريخ النقد الأدبى الحديث جـ٢	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٦٤ – برتراند راسل (سيرة حياة)	آلان وود	ت : رمسيس عوض .
٦٥ – فى مدح الكسل ومقالات أخرى	برتراند راسل	ت : رمسيس عوض .
٦٦ – خمس مسرحيات أندلسية	أنطونيو جالا	ت : عبد اللطيف عبد الحليم
٦٧ – مختارات	فرناندو بيسوا	ت : المهدى أخريف
٦٨ – نتاشا العجوز وقصص أخرى	فالنتين راسبوتين	ت : أشرف الصباغ
٦٩ – العالم الإسلامى فى أوائل القرن العشرين	عبد الرشيد إبراهيم	ت : أحمد فؤاد متولى وهويدا محمد فهمى
٧٠ – ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية	أوخينيو تشانج رودريجث	ت : عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد
٧١ – السيدة لا تصلح إلا للرمى	داريو فو	ت : حسين محمود

٧٢ – السياسي العجوز	ت . س . إليوت	ت : فؤاد مجلي
٧٣ – نقد استجابة القارئ	جين . ب . توميكنز	ت : حسن ناظم وعلي حاكم
٧٤ – صلاح الدين والمماليك في مصر	ل . ا . سيمينوفا	ت : حسن بيومي
٧٥ – فن التراجم والسير الذاتية	أندريه موروا	ت : أحمد درويش
٧٦ – جاك لاكان وإغواء التحليل النفسي	مجموعة من الكتاب	ت : عبد المقصود عبد الكريم
٧٧ – تاريخ النقد الأدبي الحديث ج ٣	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٧٨ – العولمة : النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية	رونالد روبرتسون	ت : أحمد محمود ونورا أمين
٧٩ – شعرية التأليف	بوريس أوسبنسكي	ت : سعيد الغانمي وناصر حلاوي
٨٠ – بوشكين عند «نافورة الدموع»	ألكسندر بوشكين	ت : مكارم الغمري
٨١ – الجماعات المتخيلة	بندكت أندرسن	ت : محمد طارق الشرقاوي
٨٢ – مسرح ميجيل	ميجيل دي أونامونو	ت : محمود السيد علي
٨٣ – مختارات	غوتفريد بن	ت : خالد المعالي
٨٤ – موسوعة الأدب والنقد	مجموعة من الكتاب	ت : عبد الحميد شيحة
٨٥ – منصور الحلاج (مسرحية)	صلاح زكي أقطاي	ت : عبد الرازق بركات
٨٦ – طول الليل	جمال مير صادقي	ت : أحمد فتحي يوسف شتا
٨٧ – نون والقلم	جلال آل أحمد	ت : ماجدة العناني
٨٨ – الابتلاء بالتغرب	جلال آل أحمد	ت : إبراهيم الدسوقي شتا
٨٩ – الطريق الثالث	أنتوني جيدنز	ت : أحمد زايد ومحمد محيي الدين
٩٠ – وسم السيف (قصص)	نخبة من كُتاب أمريكا اللاتينية	ت : محمد إبراهيم مبروك
٩١ – المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق	باربر الاسوستكا	ت : محمد هناء عبد الفتاح
٩٢ – أساليب ومضامين المسرح الإسبانوأمريكي المعاصر	كارلوس ميجيل	ت : نادية جمال الدين
٩٣ – محدثات العولمة	مايك فيذرستون وسكوت لاش	ت : عبد الوهاب علوب
٩٤ – الحب الأول والصحبة	صمويل بيكيت	ت : فوزية العشماوي
٩٥ – مختارات من المسرح الإسباني	أنطونيو بويرو باييخو	ت : سري محمد محمد عبد اللطيف
٩٦ – ثلاث زنبقات ووردة	قصص مختارة	ت : إدوار الخراط
٩٧ – هوية فرنسا (المجلد الأول)	فرنان برودل	ت : بشير السباعي
٩٨ – الهم الإنساني والابتزاز الصهيوني	نماذج ومقالات	ت : أشرف الصباغ
٩٩ – تاريخ السينما العالمية	ديفيد روبنسون	ت : إبراهيم قنديل
١٠٠ – مساءلة العولمة	بول هيرست وجراهام توميسون	ت : إبراهيم فتحي
١٠١ – النص الروائي (تقنيات ومناهج)	بيرنار فاليط	ت : رشيد بنحدو
١٠٢ – السياسة والتسامح	عبد الكريم الخطيبي	ت : عز الدين الكتاني الإدريسي
١٠٣ – قبر ابن عربي يليه آياء	عبد الوهاب المؤدب	ت : محمد بنيس
١٠٤ – أوبرا ماهوجني	برتولت بريشت	ت : عبد الغفار مكاوي
١٠٥ – مدخل إلى النص الجامع	جيرارجينيت	ت : عبد العزيز شبيل
١٠٦ – الأدب الأندلسي	د. ماريا خيسوس روبييرامتي	ت : أشرف علي دعدور
١٠٧ – صورة الفدائي في الشعر الأمريكي المعاصر	نخبـة	ت : محمد عبد الله الجعيدي

١٠٨ - ثلاث دراسات عن الشعر الأندلسى	مجموعة من النقاد	ت : محمود على مكى
١٠٩ - حروب المياه	چون بولوك وعادل درويش	ت : هاشم أحمد محمد
١١٠ - النساء فى العالم النامى	حسنة بيجوم	ت : منى قطان
١١١ - المرأة والجريمة	فرانسيس هيندسون	ت : ريهام حسين إبراهيم
١١٢ - الاحتجاج الهادئ	أرلين علوى ماكليود	ت : إكرام يوسف
١١٣ - راية التمرد	سادى بلانت	ت : أحمد حسان
١١٤ - مسرحيتا حصاد كونجى وسكان المستنقع	وول شوينكا	ت : نسيم مجلى
١١٥ - غرفة تخص المرء وحده	فرچينيا وولف	ت : سمية رمضان
١١٦ - امرأة مختلفة (درية شفيق)	سينثيا نلسون	ت : نهاد أحمد سالم
١١٧ - المرأة والجنوسة فى الإسلام	ليلى أحمد	ت : منى إبراهيم ، وهالة كمال
١١٨ - النهضة النسائية فى مصر	بث بارون	ت : لميس النقاش
١١٩ - النساء والأسرة وقوانين الطلاق	أميرة الأزهرى سنبل	ت : بإشراف/ رؤوف عباس
١٢٠ - الحركة النسائية والتطور فى الشرق الأوسط	ليلى أبو لغد	ت : نخبة من المترجمين
١٢١ - الدليل الصغير فى كتابة المرأة العربية	فاطمة موسى	ت : محمد الجندى ، وإيزابيل كمال
١٢٢ - نظام العبودية القديم ونموذج الإنسان	جوزيف فوجت	ت : منيرة كروان
١٢٣ - الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية	نيقل الكسندر وفنادولينا	ت: أنور محمد إبراهيم
١٢٤ - الفجر الكاذب	چون جراى	ت : أحمد فؤاد بلبع
١٢٥ - التحليل الموسيقى	سيدريك ثورپ ديڤى	ت : سمحه الخولى
١٢٦ - فعل القراءة	ڤولڤانج إيسر	ت : عبد الوهاب علوب
١٢٧ - إرهاب	صفاء فتحى	ت : بشير السباعى
١٢٨ - الأدب المقارن	سوزان باسنيت	ت : أميرة حسن نويرة
١٢٩ - الرواية الاسبانية المعاصرة	ماريا دولورس أسيس جاروته	ت : محمد أبو العطا وآخرون
١٣٠ - الشرق يصعد ثانية	أندريه جوندر فرانك	ت : شوقى جلال
١٣١ - مصر القديمة (التاريخ الاجتماعى)	مجموعة من المؤلفين	ت : لويس بقطر
١٣٢ - ثقافة العولمة	مايك فيذرستون	ت : عبد الوهاب علوب
١٣٣ - الخوف من المرايا	طارق على	ت : طلعت الشايب
١٣٤ - تشريح حضارة	بارى ج. كيمب	ت : أحمد محمود
١٣٥ - المختار من نقد ت. س. إليوت (ثلاثة أجزاء)	ت. س. إليوت	ت : ماهر شفيق فريد
١٣٦ - فلاحو الباشا	كينيث كونو	ت : سحر توفيق
١٣٧ - مذكرات ضابط فى الحملة الفرنسية	چوزيف مارى مواريه	ت : كاميليا صبحى
١٣٨ - عالم التليفزيون بين الجمال والعنف	إيڤلينا تارونى	ت : وجيه سمعان عبد المسيح
١٣٩ - پارسيڤال	ريشارد ڤاچنر	ت : مصطفى ماهر
١٤٠ - حيث تلتقى الأنهار	هربرت ميسن	ت : أمل الجبورى
١٤١ - اثنتا عشرة مسرحية يونانية	مجموعة من المؤلفين	ت : نعيم عطية
١٤٢ - الإسكندرية : تاريخ ودليل	أ. م. فورستر	ت : حسن بيومى
١٤٣ - قضايا التنظير فى البحث الاجتماعى	ديريك لايدار	ت : عدلى السمرى
١٤٤ - صاحبة اللوكاندة	كارلو جولدونى	ت : سلامة محمد سليمان

١٤٥ – موت أرتيميو كروث	كارلوس فوينتس	ت : أحمد حسان
١٤٦ – الورقة الحمراء	ميجيل دى ليبس	ت : على عبد الرؤوف البمبى
١٤٧ – خطبة الإدانة الطويلة	تانكريد دورست	ت : عبد الغفار مكاوى
١٤٨ – القصة القصيرة (النظرية والتقنية)	إنريكى أندرسون إمبرت	ت : على إبراهيم على منوفى
١٤٩ – النظرية الشعرية عند إليوت وأدونيس	عاطف فضول	ت : أسامة إسبر
١٥٠ – التجربة الإغريقية	روبرت ج. ليتمان	ت: منيرة كروان
١٥١ – هوية فرنسا (مج ٢ ، ج ١)	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
١٥٢ – عدالة الهنود وقصص أخرى	نخبة من الكُتاب	ت : محمد محمد الخطابى
١٥٣ – غرام الفراعنة	فيولين فانويك	ت : فاطمة عبد الله محمود
١٥٤ – مدرسة فرانكفورت	فيل سليتر	ت : خليل كلفت
١٥٥ – الشعر الأمريكى المعاصر	نخبة من الشعراء	ت : أحمد مرسى
١٥٦ – المدارس الجمالية الكبرى	جى أنبال وآلان وأوديت ڤيرمو	ت : مى التلمسانى
١٥٧ – خسرو وشيرين	النظامى الكنوجى	ت : عبد العزيز بقوش
١٥٨ – هوية فرنسا (مج ٢ ، ج٢)	فرنان برودل	ت : بشير السباعى
١٥٩ – الإيديولوجية	ديڤيد هوكس	ت : إبراهيم فتحى
١٦٠ – آلة الطبيعة	بول إيرليش	ت : حسين بيومى
١٦١ – من المسرح الإسبانى	اليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا	ت : زيدان عبد الحليم زيدان
١٦٢ – تاريخ الكنيسة	يوحنا الآسيوى	ت : صلاح عبد العزيز محجوب
١٦٣ – موسوعة علم الاجتماع ج ١	جوردون مارشال	ت بإشراف : محمد الجوهرى
١٦٤ – شامبوليون (حياة من نور)	چان لاكوتير	ت : نبيل سعد
١٦٥ – حكايات الثعلب	أ . ن أفانا سيفا	ت : سهير المصادفة
١٦٦ – العلاقات بين المتدينين والعلمانيين فى إسرائيل	يشعياهو ليڤمان	ت : محمد محمود أبو غدير
١٦٧ – فى عالم طاغور	رابندرانات طاغور	ت : شكرى محمد عياد
١٦٨ – دراسات فى الأدب والثقافة	مجموعة من المؤلفين	ت : شكرى محمد عياد
١٦٩ – إبداعات أدبية	مجموعة من المبدعين	ت : شكرى محمد عياد
١٧٠ – الطريق	ميغيل دليبيس	ت : بسام ياسين رشيد
١٧١ – وضع حد	فرانك بيجو	ت : هدى حسين
١٧٢ – حجر الشمس	مختارات	ت : محمد محمد الخطابى
١٧٣ – معنى الجمال	ولتر ت . ستيس	ت : إمام عبد الفتاح إمام
١٧٤ – صناعة الثقافة السوداء	ايليس كاشمور	ت : أحمد محمود
١٧٥ – التليفزيون فى الحياة اليومية	لورينزو فيلشس	ت : وجيه سمعان عبد المسيح
١٧٦ – نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية	توم تيتنبرج	ت : جلال البنا
١٧٧ – أنطون تشيخوف	هنرى ترويا	ت : حصة إبراهيم منيف
١٧٨ – مختارات من الشعر اليونانى الحديث	نخبة من الشعراء	ت : محمد حمدى إبراهيم
١٧٩ – حكايات أيسوب	أيسوب	ت : إمام عبد الفتاح إمام
١٨٠ – قصة جاويد	إسماعيل فصيح	ت : سليم عبدالأمير حمدان
١٨١ – النقد الأدبى الأمريكى	فنسنت . ب . ليتش	ت : محمد يحيى

١٨٢ - العنف والنبوءة	و . ب . ييتس	ت : ياسين طه حافظ
١٨٣ - چان كوكتو على شاشة السينما	رينيه چيلسون	ت : فتحى العشرى
١٨٤ - القاهرة .. حالمة لا تنام	هانز إيندورفر	ت : دسوقى سعيد
١٨٥ - أسفار العهد القديم	توماس تومسن	ت : عبد الوهاب علوب
١٨٦ - معجم مصطلحات هيجل	ميخائيل أنوود	ت : إمام عبد الفتاح إمام
١٨٧ - الأرضة	بُزُرْج علَوى	ت : علاء منصور
١٨٨ - موت الأدب	ألفين كرنان	ت : بدر الديب
١٨٩ - العمى والبصيرة	بول دى مان	ت : سعيد الغانمى
١٩٠ - محاورات كونفوشيوس	كونفوشيوس	ت : محسن سيد فرجانى
١٩١ - الكلام رأسمال	الحاج أبو بكر إمام	ت : مصطفى حجازى السيد
١٩٢ - سياحت نامه إبراهيم بك جـ١	زين العابدين المراغى	ت : محمود سلامة علاوى
١٩٣ - عامل المنجم	بيتر أبراهامز	ت : محمد عبد الواحد محمد
١٩٤ - مختارات من النقد الأنجلو-أمريكى	مجموعة من النقاد	ت : ماهر شفيق فريد
١٩٥ - شتاء ٨٤	إسماعيل فصيح	ت : محمد علاء الدين منصور
١٩٦ - المهلة الأخيرة	فالنتين راسبوتين	ت : أشرف الصباغ
١٩٧ - الفاروق	شمس العلماء شبلى النعمانى	ت : جلال السعيد الحفناوى
١٩٨ - الاتصال الجماهيرى	إدوين إمرى وآخرون	ت : إبراهيم سلامة إبراهيم
١٩٩ - تاريخ يهود مصر فى الفترة العثمانية	يعقوب لانداوى	ت : جمال أحمد الرفاعى وأحمد عبد اللطيف حماد
٢٠٠ - ضحايا التنمية	جيرمى سيبروك	ت : فخرى لبيب
٢٠١ - الجانب الدينى للفلسفة	جوزايا رويس	ت : أحمد الأنصارى
٢٠٢ - تاريخ النقد الأدبى الحديث جـ٤	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٢٠٣ - الشعر والشاعرية	ألطاف حسين حالى	ت : جلال السعيد الحفناوى
٢٠٤ - تاريخ نقد العهد القديم	زالمان شازار	ت : أحمد محمود هويدى
٢٠٥ - الجينات والشعوب واللغات	لويجى لوقا كافاللى - سفورزا	ت : أحمد مستجير
٢٠٦ - الهيولية تصنع علماً جديداً	جيمس جلايك	ت : على يوسف على
٢٠٧ - ليل إفريقى	رامون خوتاسندير	ت : محمد أبو العطا عبد الرؤوف
٢٠٨ - شخصية العربى فى المسرح الإسرائيلى	دان أوريان	ت : محمد أحمد صالح
٢٠٩ - السرد والمسرح	مجموعة من المؤلفين	ت : أشرف الصباغ
٢١٠ - مثنويات حكيم سنائى	سنائى الغزنوى	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٢١١ - فردينان دوسوسير	جوناثان كلر	ت : محمود حمدى عبد الغنى
٢١٢ - قصص الأمير مرزبان	مرزبان بن رستم بن شروين	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٢١٣ - مصر منذ قدوم نابليون حتى رحيل عبد الناصر	ريمون فلاور	ت : سيد أحمد على الناصرى
٢١٤ - قواعد جديدة للمنهج فى علم الاجتماع	أنتونى جيدنز	ت : محمد محمود محى الدين
٢١٥ - سياحت نامه إبراهيم بك جـ٢	زين العابدين المراغى	ت : محمود سلامة علاوى
٢١٦ - جوانب أخرى من حياتهم	مجموعة من المؤلفين	ت : أشرف الصباغ
٢١٧ - مسرحيتان طليعيتان	صمويل بيكيت	ت : نادية البنهاوى
٢١٨ - رايولا	خوليو كورتازان	ت : على إبراهيم على منوفى

٢١٩ - بقايا اليوم	كازو ايشجورو	ت : طلعت الشايب
٢٢٠ - الهيولية فى الكون	بارى باركر	ت : على يوسف على
٢٢١ - شعرية كفافى	جريجورى جوزدانيس	ت : رفعت سلام
٢٢٢ - فرانز كافكا	رونالد جراى	ت : نسيم مجلى
٢٢٣ - العلم فى مجتمع حر	بول فيرابنر	ت : السيد محمد نفادى
٢٢٤ - دمار يوغسلافيا	برانكا ماجاس	ت : منى عبد الظاهر إبراهيم السيد
٢٢٥ - حكاية غريق	جابرييل جارثيا ماركث	ت : السيد عبد الظاهر عبد الله
٢٢٦ - أرض المساء وقصائد أخرى	ديفيد هربت لورانس	ت : طاهر محمد على البربرى
٢٢٧ - المسرح الإسبانى فى القرن السابع عشر	موسى ماريديا ديف بوركى	ت : السيد عبد الظاهر عبد الله
٢٢٨ - علم الجمالية وعلم اجتماع الفن	جانيت وولف	ت : مارى تيريز عبد المسيح وخالد حسن
٢٢٩ - مأزق البطل الوحيد	نورمان كيمان	ت : أمير إبراهيم العمرى
٢٣٠ - عن الذباب والفئران والبشر	فرانسواز جاكوب	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣١ - الدرافيل	خايمى سالوم بيدال	ت : جمال أحمد عبد الرحمن
٢٣٢ - مابعد المعلومات	توم ستينر	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣٣ - فكرة الاضمحلال	أرثر هيرمان	ت : طلعت الشايب
٢٣٤ - الإسلام فى السودان	ج. سبنسر تريمنجهام	ت : فؤاد محمد عكود
٢٣٥ - ديوان شمس تبريزى ج١	جلال الدين الرومى	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٢٣٦ - الولاية	ميشيل تود	ت : أحمد الطيب
٢٣٧ - مصر أرض الوادى	روبين فيدين	ت : عنايات حسين طلعت
٢٣٨ - العولمة والتحرير	الانكتاد	ت : ياسر محمد جاد الله وعربى مدبولى أحمد
٢٣٩ - العربى فى الأدب الإسرائيلى	جيلارافر - رايوخ	ت : نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق
٢٤٠ - الإسلام والغرب وإمكانية الحوار	كامى حافظ	ت : صلاح عبد العزيز محمود
٢٤١ - فى انتظار البرابرة	ك. م كويتز	ت : ابتسام عبد الله سعيد
٢٤٢ - سبعة أنماط من الغموض	وليام إمبسون	ت : صبرى محمد حسن عبد النبى
٢٤٣ - تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج ١)	ليفى بروفنسال	ت : مجموعة من المترجمين
٢٤٤ - الغليان	لاورا إسكيبيل	ت : نادية جمال الدين محمد
٢٤٥ - نساء مقاتلات	إليزابيتا أديس	ت : توفيق على منصور
٢٤٦ - قصص مختارة	جابرييل جرثيا ماركث	ت : على إبراهيم على منوفى
٢٤٧ - الثقافة الجماهيرية والحداثة فى مصر	وولتر أرمبرست	ت : محمد الشرقاوى
٢٤٨ - حقول عدن الخضراء	أنطونيو جالا	ت : عبد اللطيف عبد الحليم
٢٤٩ - لغة التمزق	دراجو شتامبوك	ت : رفعت سلام
٢٥٠ - علم اجتماع العلوم	دومنيك فينك	ت : ماجدة أباظة
٢٥١ - موسوعة علم الاجتماع ج ٢	جوردون مارشال	ت بإشراف : محمد الجوهرى
٢٥٢ - رائدات الحركة النسوية المصرية	مارجو بدران	ت : على بدران
٢٥٣ - تاريخ مصر الفاطمية	ل. أ. سيمينوڤا	ت : حسن بيومى
٢٥٤ - الفلسفة	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٥ - أفلاطون	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام

٢٥٦ - ديكارت	ديف روبنسون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٧ - تاريخ الفلسفة الحديثة	وليم كلى رايت	ت : محمود سيد أحمد
٢٥٨ - الغجر	سير أنجوس فريزر	ت : عُبادة كُحيلة
٢٥٩ - مختارات من الشعر الأرمنى	نخبة	ت : ڤاروجان كازانجيان
٢٦٠ - موسوعة علم الاجتماع ج٢	جوردون مارشال	ت بإشراف : محمد الجوهرى
٢٦١ - رحلة فى فكر زكى نجيب محمود	زكى نجيب محمود	ت: إمام عبد الفتاح إمام
٢٦٢ - مدينة المعجزات	إدوارد منديثا	ت : محمد أبو العطا عبد الرؤوف
٢٦٣ - الكشف عن حافة الزمن	چون جريبن	ت : على يوسف على
٢٦٤ - إبداعات شعرية مترجمة	هوراس / شلى	ت : لويس عوض
٢٦٥ - روايات مترجمة	أوسكار وايلد وصمويئيل جونسون	ت : لويس عوض
٢٦٦ - مدير المدرسة	جلال آل أحمد	ت : عادل عبد المنعم سويلم
٢٦٧ - فن الرواية	ميلان كونديرا	ت : بدر الدين عرودكى
٢٦٨ - ديوان شمس تبريزى ج٢	جلال الدين الرومى	ت : إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦٩ - وسط الجزيرة العربية وشرقها ج١	وليم چيفور بالجريف	ت : صبرى محمد حسن
٢٧٠ - وسط الجزيرة العربية وشرقها ج٢	وليم چيفور بالجريف	ت : صبرى محمد حسن
٢٧١ - الحضارة الغربية	توماس سى . باترسون	ت : شوقى جلال
٢٧٢ - الأديرة الأثرية فى مصر	س. س. والترز	ت : إبراهيم سلامة
٢٧٣ - الاستعمار والثورة فى الشرق الأوسط	جوان آر. لوك	ت : عنان الشهاوى
٢٧٤ - السيدة بربارا	روموار جلاجوس	ت : محمود على مكى
٢٧٥ - ت. س. إليوت شاعراً وناقداً وكاتباً مسرحياً	أقلام مختلفة	ت : ماهر شفيق فريد
٢٧٦ - فنون السينما	فرانك جوتيران	ت : عبد القادر التلمسانى
٢٧٧ - الجينات : الصراع من أجل الحياة	بريان فورد	ت : أحمد فوزى
٢٧٨ - البدايات	إسحق عظيموف	ت : ظريف عبد الله
٢٧٩ - الحرب الباردة الثقافية	فرانسيس ستونر سوندرز	ت : طلعت الشايب
٢٨٠ - من الأدب الهندى الحديث والمعاصر	بريم شند وآخرون	ت : سمير عبد الحميد
٢٨١ - الفردوس الأعلى	مولانا عبد الحليم شرر الكهنوى	ت : جلال الحفناوى
٢٨٢ - طبيعة العلم غير الطبيعية	لويس ولبيرت	ت : سمير حنا صادق
٢٨٣ - السهل يحترق	خوان رولفو	ت : على البمبى
٢٨٤ - هرقل مجنوناً	يوريبيدس	ت : أحمد عتمان
٢٨٥ - رحلة الخواجة حسن نظامى	حسن نظامى	ت : سمير عبد الحميد
٢٨٦ - سياحت نامه إبراهيم بك ج٢	زين العابدين المراغى	ت : محمود سلامة علاوى
٢٨٧ - الثقافة والعولمة والنظام العالمى	أنتونى كينج	ت : محمد يحيى وآخرون
٢٨٨ - الفن الروائى	ديفيد لودج	ت : ماهر البطوطى
٢٨٩ - ديوان منجوهرى الدامغانى	أبو نجم أحمد بن قوص	ت : محمد نور الدين
٢٩٠ - علم اللغة والترجمة	جورج مونان	ت : أحمد زكريا إبراهيم
٢٩١ - المسرح الإسبانى فى القرن العشرين ج١	فرانشسكو رويس رامون	ت : السيد عبد الظاهر
٢٩٢ - المسرح الإسبانى فى القرن العشرين ج٢	فرانشسكو رويس رامون	ت : السيد عبد الظاهر

٢٩٣ – مقدمة للأدب العربي	روجر آلان	ت : نخبة من المترجمين
٢٩٤ – فن الشعر	بوالو	ت : رجاء ياقوت صالح
٢٩٥ – سلطان الأسطورة	جوزيف كامبل	ت : بدر الدين حب الله الديب
٢٩٦ – مكبث	وليم شكسبير	ت : محمد مصطفى بدوى
٢٩٧ – فن النحو بين اليونانية والسريانية	ديونيسيوس ثراكس – يوسف الأهوازى	ت : ماجدة محمد أنور
٢٩٨ – مأساة العبيد	أبو بكر تفاوابليوه	ت : مصطفى حجازى السيد
٢٩٩ – ثورة التكنولوجيا الحيوية	جين ل. ماركس	ت : هاشم أحمد فؤاد
٣٠٠ – أسطورة بروميثيوس مج١	لويس عوض	ت : جمال الجزيرى وبهاء چاهين
٣٠١ – أسطورة بروميثيوس مج٢	لويس عوض	ت : جمال الجزيرى ومحمد الجندى
٣٠٢ – فنجنشتين	جون هيتون وجودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٣ – بـوذا	جين هوب وبورن فان لون	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٤ – ماركس	ريـوس	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٥ – الجلد	كروزيو مالابارته	ت : صلاح عبد الصبور
٣٠٦ – الحماسة – النقد الكانطى للتاريخ	چان – فرانسوا ليوتار	ت : نبيل سعد
٣٠٧ – الشعور	ديفيد بابينو	ت : محمود محمد أحمد
٣٠٨ – علم الوراثة	ستيف جونز	ت : ممدوح عبد المنعم أحمد
٣٠٩ – الذهن والمخ	انجوس جيلاتى	ت : جمال الجزيرى
٣١٠ – يونج	ناجى هيد	ت : محيى الدين محمد حسن
٣١١ – مقال فى المنهج الفلسفى	كولنجوود	ت : فاطمة إسماعيل
٣١٢ – روح الشعب الأسود	وليم دى بويز	ت : أسعد حليم
٣١٣ – أمثال فلسطينية	خايير بيان	ت : عبد الله الجعيدى
٣١٤ – الفن كعدم	جينس مينيك	ت : هويدا السباعى
٣١٥ – جرامشى فى العالم العربى	ميشيل بروندينو	ت :كاميليا صبحى
٣١٦ – محاكمة سقراط	آ. ف. ستون	ت : نسيم مجلى
٣١٧ – بلا غد	شير لايموفا – زنيكين	ت : أشرف الصباغ
٣١٨ – الأدب الروسى فى السنوات العشر الأخيرة	نخبة	ت : أشرف الصباغ
٣١٩ – صور دريدا	جايتر ياسبيفاك وكرستوفر نوريس	ت : حسام نايل
٣٢٠ – لمة السراج لحضرة التاج	مؤلف مجهول	ت : محمد علاء الدين منصور
٣٢١ – تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج ٢، ج١)	ليفى برو فنسال	ت : نخبة من المترجمين
٣٢٢ – وجهات نظر حديثة فى تاريخ الفن الغربى	دبليو. إيوجين كليبنباور	ت : خالد مفلح حمزة
٣٢٣ – فن الساتورا	تراث يونانى قديم	ت : هانم سليمان
٣٢٤ – اللعب بالنار	أشرف أسدى	ت : محمود سلامة علاوى
٣٢٥ – عالم الآثار	فيليب بوسان	ت : كرستين يوسف
٣٢٦ – المعرفة والمصلحة	جورجين هابرماس	ت : حسن صقر
٣٢٧ – مختارات شعرية مترجمة	نخبة	ت : توفيق على منصور
٣٢٨ – يوسف وزليخة	نور الدين عبد الرحمن بن أحمد	ت : عبد العزيز بقوش
٣٢٩ – رسائل عيد الميلاد	تد هيوز	ت : محمد عيد إبراهيم

٣٣٠ – كل شىء عن التمثيل الصامت	مارفن شبرد	ت : سامى صلاح
٣٣١ – عندما جاء السردين	ستيفن جراى	ت : سامية دياب
٣٣٢ – رحلة شهر العسل وقصص أخرى	نخبة	ت : على إبراهيم على منوفى
٣٣٣ – الإسلام فى بريطانيا	نبيل مطر	ت : بكر عباس
٣٣٤ – لقطات من المستقبل	آرثر س. كلارك	ت : مصطفى فهمى
٣٣٥ – عصر الشك	ناتالى ساروت	ت : فتحى العشرى
٣٣٦ – متون الأهرام	نصوص قديمة	ت : حسن صابر
٣٣٧ – فلسفة الولاء	جوزايا رويس	ت : أحمد الأنصارى
٣٣٨ – نظرات حائرة وقصص أخرى من الهند	نخبة	ت : جلال السعيد الحفناوى
٣٣٩ – تاريخ الأدب فى إيران جـ٣	على أصغر حكمت	ت : محمد علاء الدين منصور
٣٤٠ – اضطراب فى الشرق الأوسط	بيرش بيربيروجلو	ت : فخرى لبيب
٣٤١ – قصائد من رلكه	راينر ماريا رلكه	ت : حسن حلمى
٣٤٢ – سلامان وأبسال	نور الدين عبد الرحمن بن أحمد	ت : عبد العزيز بقوش
٣٤٣ – العالم البرجوازى الزائل	نادين جورديمر	ت : سمير عبد ربه
٣٤٤ – الموت فى الشمس	بيتر بلانجوه	ت : سمير عبد ربه
٣٤٥ – الركض خلف الزمن	بونه ندائى	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٣٤٦ – سحر مصر	رشاد رشدى	ت : جمال الجزيرى
٣٤٧ – الصبية الطائشون	جان كوكتو	ت : بكر الحلو
٣٤٨ – المتصوفة الأولون فى الأدب التركى جـ١	محمد فؤاد كوبريلى	ت : عبد الله أحمد إبراهيم
٣٤٩ – دليل القارئ إلى الثقافة الجادة	أرثر والدرون وآخرين	ت : أحمد عمر شاهين
٣٥٠ – بانوراما الحياة السياحية	أقلام مختلفة	ت : عطية شحاتة
٣٥١ – مبادئ المنطق	جوزايا رويس	ت : أحمد الأنصارى
٣٥٢ – قصائد من كفافيس	قسطنطين كفافيس	ت : نعيم عطية
٣٥٣ – الفن الإسلامى فى الأندلس (هندسية)	باسيليو بابون مالدونالد	ت : على إبراهيم على منوفى
٣٥٤ – الفن الإسلامى فى الأندلس (نباتية)	باسيليو بابون مالدونالد	ت : على إبراهيم على منوفى
٣٥٥ – التيارات السياسية فى إيران	حجت مرتضى	ت : محمود سلامة علاوى
٣٥٦ – الميراث المر	بول سالم	ت : بدر الرفاعى
٣٥٧ – متون هيرميس	نصوص قديمة	ت : عمر الفاروق عمر
٣٥٨ – أمثال الهوسا العامية	نخبة	ت : مصطفى حجازى السيد
٣٥٩ – محاورات بارمنيدس	أفلاطون	ت : حبيب الشارونى
٣٦٠ – أنثروبولوجيا اللغة	أندريه جاكوب ونويلا باركان	ت : ليلى الشربينى
٣٦١ – التصحر : التهديد والمجابهة	آلان جرينجر	ت : عاطف معتمد وآمال شاور
٣٦٢ – تلميذ بابنبرج	هاينرش شبورال	ت : سيد أحمد فتح الله
٣٦٣ – حركات التحرر الأفريقى	ريتشارد جيبسون	ت : صبرى محمد حسن
٣٦٤ – حداثة شكسبير	إسماعيل سراج الدين	ت : نجلاء أبو عجاج
٣٦٥ – سأم باريس	شارل بودلير	ت : محمد أحمد حمد
٣٦٦ – نساء يركضن مع الذئاب	كلاريسا بنكولا	ت : مصطفى محمود محمد

٣٦٧ – القلم الجرىء	نخبة	ت : البراق عبد الهادى رضا
٣٦٨ – المصطلح السردى	جيرالد برنس	ت : عابد خزندار
٣٦٩ – المرأة فى أدب نجيب محفوظ	فوزية العشماوى	ت : فوزية العشماوى
٣٧٠ – الفن والحياة فى مصر الفرعونية	كليرلا لويت	ت : فاطمة عبد الله محمود
٣٧١ – المتصوفة الأولون فى الأدب التركى جـ٢	محمد فؤاد كوبريلى	ت : عبد الله أحمد إبراهيم
٣٧٢ – عاش الشباب	وانغ مينغ	ت : وحيد السعيد عبد الحميد
٣٧٣ – كيف تعد رسالة دكتوراه	أمبرتو إيكو	ت : على إبراهيم على منوفى
٣٧٤ – اليوم السادس	أندريه شديد	ت : حمادة إبراهيم
٣٧٥ – الخلود	ميلان كونديرا	ت : خالد أبو اليزيد
٣٧٦ – الغضب وأحلام السنين	نخبة	ت : إدوار الخراط
٣٧٧ – تاريخ الأدب فى إيران جـ٤	على أصغر حكمت	ت : محمد علاء الدين منصور
٣٧٨ – المسافر	محمد إقبال	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٣٧٩ – ملك فى الحديقة	سنيل باث	ت : جمال عبد الرحمن
٣٨٠ – حديث عن الخسارة	جونتر جراس	ت : شيرين عبد السلام
٣٨١ – أساسيات اللغة	ر. ل. تراسك	ت : رانيا إبراهيم يوسف
٣٨٢ – تاريخ طبرستان	بهاء الدين محمد إسفنديار	ت : أحمد محمد نادى
٣٨٣ – هدية الحجاز	محمد إقبال	ت : سمير عبد الحميد إبراهيم
٣٨٤ – القصص التى يحكيها الأطفال	سوزان إنجيل	ت : إيزابيل كمال
٣٨٥ – مشترى العشق	محمد على بهزادراد	ت : يوسف عبد الفتاح فرج
٣٨٦ – دفاعًا عن التاريخ الأدبى النسوى	جانيت تود	ت : ريهام حسين إبراهيم
٣٨٧ – أغنيات وسوناتات	چون دن	ت : بهاء چاهين
٣٨٨ – مواعظ سعدى الشيرازى	سعدى الشيرازى	ت : محمد علاء الدين منصور
٣٨٩ – من الأدب الباكستانى المعاصر	نخبة	ت : سمير عبد الحميد إبراهيم
٣٩٠ – الأرشيفات والمدن الكبرى	نخبة	ت : عثمان مصطفى عثمان
٣٩١ – الحافلة الليلكية	مايف بينشى	ت : منى الدروبى
٣٩٢ – مقامات ورسائل أندلسية	فرناندو دى لاجرانخا	ت : عبد اللطيف عبد الحليم
٣٩٣ – فى قلب الشرق	ندوة لويس ماسينيون	ت : نخبة
٣٩٤ – القوى الأربع الأساسية فى الكون	بول ديفيز	ت : هاشم أحمد محمد
٣٩٥ – آلام سياوش	إسماعيل فصيح	ت : سليم حمدان
٣٩٦ – السافاك	تقى نجارى راد	ت :محمود سلامة علاوى
٣٩٧ – نيتشه	لورانس جين	ت :إمام عبد الفتاح إمام
٣٩٨ – سارتر	فيليب تودى	ت :إمام عبد الفتاح إمام
٣٩٩ – كامى	ديفيد ميروفتس	ت :إمام عبد الفتاح إمام
٤٠٠ – مومو	مشيائيل إنده	ت : باهر الجوهرى
٤٠١ – الرياضيات	زيادون ساردر	ت : ممدوح عبد المنعم
٤٠٢ – هوكنج	ج . ب . ماك ايفوى	ت : ممدوح عبد المنعم
٤٠٣ – رية المطر والملابس تصنع الناس	توبور شتورم	ت : عماد حسن بكر
٤٠٤ – تعويذة الحسى	ديفيد إبرام	ت : ظبية خميس
٤٠٥ – إيزابيل	أندريه جيد	ت : حمادة إبراهيم
٤٠٦ – المستعربون الإسبان فى القرن ١٩	مانويلا مانتاناريس	ت : جمال أحمد عبد الرحمن

٤٠٧ – الأدب الإسباني المعاصر بأقلام كتابه	أقلام مختلفة	ت : طلعت شاهين
٤٠٨ – معجم تاريخ مصر	جوان فوتشركنج	ت : عنان الشهاوى
٤٠٩ – انتصار السعادة	برتراند راسل	ت : إلهامى عمارة
٤١٠– خلاصة القرن	كارل بوبر	ت : الزواوى بغورة
٤١١ – همس من الماضي	جينيفر أكرمان	ت : أحمد مستجير
٤١٢ – تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج ٢، ج٢)	ليفى بروفنسال	ت : نخبة
٤١٣ – أغنيات المنفى	ناظم حكمت	ت : محمد البخارى
٤١٤ – الجمهورية العالمية للآداب	باسكال كازانوفا	ت : أمل الصبان
٤١٥ – صورة كوكب	فريدريش دورنيمات	ت : أحمد كامل عبد الرحيم
٤١٦ – مبادئ النقد الأدبي والعلم والشعر	أ. أ. رتشاردز	ت : مصطفى بدوى
٤١٧ – تاريخ النقد الأدبي الحديث ج٥	رينيه ويليك	ت : مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤١٨ – سياسات الزمر الحاكمة فى مصر العثمانية	جين هاثواى	ت : عبد الرحمن الشيخ
٤١٩ – العصر الذهبى للإسكندرية	جون ماريو	ت : نسيم مجلى
٤٢٠ – مكرو ميجاس	فولتير	ت : الطيب بن رجب
٤٢١ – الولاء والقيادة فى المجتمع الإسلامى	روى متحدة	ت : أشرف محمد كيلانى
٤٢٢ – رحلة لاستكشاف أفريقيا جـ١	نخبة	ت : عبد الله عبد الرازق إبراهيم
٤٢٣ – إسراءات الرجل الطيف	نخبة	ت : وحيد النقاش
٤٢٤ – لوائح الحق ولوامع العشق	نور الدين عبد الرحمن الجامى	ت : محمد علاء الدين منصور
٤٢٥ – من طاووس حتى فرح	محمود طلوعى	ت : محمود سلامة علاوى
٤٢٦ – الخفافيش وقصص أخرى من أفغانستان	نخبة	ت : محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٢٧ – بانديراس الطاغية	باى إنكلان	ت : ثريا شلبى
٤٢٨ – الخزانة الخفية	محمد هوتك	ت : محمد أمان صافى
٤٢٩ – هيجل	ليود سبنسر وأندرزجى كروز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٤٣٠ – كانط	كرستوفر وانت وأندزجى كليموفسكى	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٤٣١ – فوكو	كريس هيروكس وزوران جفتيك	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٤٣٢ – ماكيافلى	باتريك كيرى وأوسكار زاريت	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٤٣٣ – جويس	ديفيد نوريس وكارل فلنت	ت : حمدى الجابرى
٤٣٤ – الرومانسية	دونكان هيث وچودى بورهام	ت : عصام حجازى
٤٣٥ – توجهات ما بعد الحداثة	نيكولاس زربرج	ت : ناجى رشوان
٤٣٦ – تاريخ الفلسفة (مج١)	فردريك كوبلستون	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٤٣٧ – رحالة هندى فى بلاد الشرق	شبلى النعمانى	ت : جلال السعيد الحفناوى
٤٣٨ – بطلات وضحايا	إيمان ضياء الدين بيبرس	ت : عايدة سيف الدولة
٤٣٩ – موت المرابى	صدر الدين عينى	ت : محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٤٠ – قواعد اللهجات العربية	كرستن بروستاد	ت : محمد الشرقاوى
٤٤١ – رب الأشياء الصغيرة	أروندهاتى روى	ت : فخرى لبيب
٤٤٢ – حتشبسوت (المرأة الفرعونية)	فوزية أسعد	ت : ماهر جويجاتى
٤٤٣ – اللغة العربية	كيس فرستيغ	ت : محمد الشرقاوى

٤٤٤ – أمريكا اللاتينية : الثقافات القديمة	لاوريت سيجورنه	ت : صالح علمانى
٤٤٥ – حول وزن الشعر	بيرويز ناتل خانلرى	ت : محمد محمد يونس
٤٤٦ – التحالف الأسود	ألكسندر كوكبرن وجيفرى سانت كلير	ت : أحمد محمود
٤٤٧ – نظرية الكم	ج. ب. ماك ايفوى	ت : ممدوح عبد المنعم
٤٤٨ – علم نفس التطور	ديلان ايفانز – أوسكار زاريت	ت : ممدوح عبد المنعم
٤٤٩ – الحركة النسائية	مجموعة	ت : جمال الجزيرى
٤٥٠ – ما بعد الحركة النسائية	صوفيا فوكا – ريبيكارايت	ت : جمال الجزيرى
٤٥١ – الفلسفة الشرقية	ريتشارد أوزبورن / بورن فان لون	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٤٥٢ – لينين والثورة الروسية	ريتشارد إبجنانزى / أوسكار زاريت	ت : محى الدين مزيد
٤٥٣ – القاهرة : إقامة مدينة حديثة	جان لوك أرنو	ت : حليم طوسون وفؤاد الدهان
٤٥٤ – خمسون علمًا من السينما الفرنسية	رينيه بريدال	ت : سوزان خليل
٤٥٥ – تاريخ الفلسفة الحديثة (مج ٥)	فردريك كوبلستون	ت : محمود سيد أحمد
٤٥٦ – لا تنسنى	مريم جعفرى	ت : هويدا عزت محمد
٤٥٧ – النساء فى الفكر السياسى الغربى	سوزان مولر اوكين	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٤٥٨ – الموريسكيون الأندلسيون	خوليو كارو باروخا	ت : جمال عبد الرحمن
٤٥٩ – نحو مفهوم لاقتصاديات الموارد الطبيعية	توم تيتنبرج	ت : جلال البنا
٤٦٠ – الفاشية والنازية	ستوارت هود – ليتزا جانستز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٤٦١ – لكان	داريان ليدر – جودى جروفز	ت : إمام عبد الفتاح إمام
٤٦٢ – طه حسين من الأزهر إلى السوربون	عبد الرشيد الصادق محمودى	ت : عبد الرشيد الصادق محمودى
٤٦٣ – الدولة المارقة	ويليام بلوم	ت : كمال السيد
٤٦٤ – ديمقراطية القلة	ميكائيل بارنتى	ت : حصة منيف
٤٦٥ – قصص اليهود	لويس جنزبرج	ت : جمال الرفاعى
٤٦٦ – حكايات حب وبطولات فرعونية	فيولين فانويك	ت : فاطمة محمود
٤٦٧ – التفكير السياسى	ستيفين ديلو	ت : ربيع وهبة
٤٦٨ – روح الفلسفة الحديثة	جوزايا رويس	ت : أحمد الأنصارى
٤٦٩ – جلال الملوك	نصوص حبشية قديمة	ت : مجدى عبد الرازق
٤٧٠ – الأراضى والجودة البيئية	نخبة	ت : محمد السيد النثة
٤٧١ – رحلة لاستكشاف أفريقيا ج٢	نخبة	ت : عبد الله الرازق إبراهيم
٤٧٢ – دون كيخوتى (القسم الأول)	ميجيل دى ثربانتس سابيدرا	ت : سليمان العطار
٤٧٣ – دون كيخوتى (القسم الثانى)	ميجيل دى ثربانتس سابيدرا	ت : سليمان العطار
٤٧٤ – الأدب والنسوية	بام موريس	ت : سهام عبد السلام
٤٧٥ – صوت مصر : أم كلثوم	فرجينيا دانيلسون	ت : عادل هلال عنانى
٤٧٦ – أرض الحبايب بعيدة : بيرم التونسى	ماريلين بوث	ت : سحر توفيق
٤٧٧ – تاريخ الصين	هيلدا هوخام	ت : أشرف كيلانى
٤٧٨ – الصين والولايات المتحدة	ليوشيه شنج ولى شى دونج	ت : عبد العزيز حمدى
٤٧٩ – المقهى (مسرحية صينية)	لاوشه	ت : عبد العزيز حمدى
٤٨٠ – تساى ون جى (مسرحية صينية)	كو مو روا	ت : عبد العزيز حمدى

٤٨١ – عباءة النبي	روى متحدة	ت : رضوان السيد
٤٨٢ – موسوعة الأساطير والرموز الفرعونية	روبير جاك تيبو	ت : فاطمة محمود
٤٨٣ – النسوية وما بعد النسوية	سارة جامبل	ت : أحمد الشامى
٤٨٤ – جمالية التلقى	هانسن روبيرت ياوس	ت : رشيد بنحدو
٤٨٥ – التوبة (رواية)	نذير أحمد الدهلوى	ت : سمير عبد الحميد إبراهيم
٤٨٦ – الذاكرة الحضارية	يان أسمن	ت : عبد الحليم عبد الغنى رجب
٤٨٧ – الرحلة الهندية إلى الجزيرة العربية	رفيع الدين المراد آبادى	ت : سمير عبد الحميد إبراهيم
٤٨٨ – الحب الذى كان وقصائد أخرى	نخبة	ت : سمير عبد الحميد إبراهيم
٤٨٩ – هُسِّرل : الفلسفة علمًا دقيقًا	هُسِّرل	ت : محمود رجب
٤٩٠ – أسمار الببغاء	محمد قدرى	ت : عبد الوهاب علوب
٤٩١ – نصوص قصصية من روائع الأدب الأفريقى	نخبة	ت : سمير عبد ربه
٤٩٢ – محمد على مؤسس مصر الحديثة	جى فارجيت	ت : محمد رفعت عواد
٤٩٣ – خطابات إلى طالب الصوتيات	هارولد بالمر	ت : محمد صالح الضالع
٤٩٤ – كتاب الموتى (الخروج فى النهار)	نصوص مصرية قديمة	ت : شريف الصيفى
٤٩٥ – اللوبى	إدوارد تيفان	ت : حسن عبد ربه المصرى
٤٩٦ – الحكم والسياسة فى أفريقيا	إكوادو بانولى	ت : مجموعة من المترجمين
٤٩٧ – العلمانية والنوع والدولة فى الشرق الأوسط	نادية العلىّ	ت : مصطفى رياض
٤٩٨ – النساء والنوع فى الشرق الأوسط الحديث	جوديث تاكر ومارجريت مريويذر	ت : أحمد على بدوى
٤٩٩ – تقاطعات : والأمة والمجتمع والجنس	نخبة	ت : فيصل بن خضراء
٥٠٠ – فى طفولتى (دراسة فى السيرة الذاتية العربية)	تيتز رووكى	ت : طلعت الشايب
٥٠١ – تاريخ النساء فى الغرب	أرثر جولد هامر	ت : سحر فراج
٥٠٢ – أصوات بديلة	هدى الصدّة	ت : هالة كمال
٥٠٣ – مختارات من الشعر الفارسى الحديث	نخبة	ت : محمد نور الدين عبد المنعم
٥٠٤ – كتابات أساسية ج١	مارتن هايدجر	ت : إسماعيل المصدق
٥٠٥ – كتابات أساسية ج٢	مارتن هايدجر	ت : إسماعيل المصدق
٥٠٦ – ربما كان قديسًا	آن تيلر	ت : عبد الحميد فهمى الجمال
٥٠٧ – سيدة الماضى الجميل	بيتر شيفر	ت : شوقى فهيم
٥٠٨ – المولوية بعد جلال الدين الرومى	عبد الباقى جلبنارلى	ت : عبد الله أحمد إبراهيم
٥٠٩ – الفقر والإحسان فى عهد سلاطين المماليك	أدم صبرة	ت : قاسم عبده قاسم
٥١٠ – الأرملة الماكرة	كارلو جولدونى	ت : عبد الرازق عيد
٥١١ – كوكب مرقّع	آن تيلر	ت : عبد الحميد فهمى الجمال
٥١٢ – كتابة النقد السينمائى	تيموثى كوريجان	ت جمال عبد الناصر
٥١٣ – العلم الجسور	تيد أنتون	ت : مصطفى إبراهيم فهمى
٥١٤ – مدخل إلى النظرية الأدبية	چونثان كولر	ت : مصطفى بيومى عبد السلام
٥١٥ – من التقليد إلى ما بعد الحداثة	فدوى مالطى دوجلاس	ت : فدوى مالطى دوجلاس
٥١٦ – إرادة الإنسان فى شفاء الإدمان	آرنولد واشنطون – ودونا باوندى	ت : صبرى محمد حسن
٥١٧ – نقش على الماء وقصص أخرى	نخبة	ت : سمير عبد الحميد إبراهيم
٥١٨ – استكشاف الأرض والكون	إسحق عظيموف	ت : هاشم أحمد محمد

٥١٩ – محاضرات فى المثالية الحديثة	جوزايا رويس	ت : أحمد الأنصارى
٥٢٠ – الولع الفرنسى بمصر من الحلم إلى المشروع	أحمد يوسف	ت : أمل الصبان
٥٢١ – قاموس تراجم مصر الحديثة	آرثر جولد سميث	ت : عبد الوهاب بكر
٥٢٢ – إسبانيا فى تاريخها	أميركو كاسترو	ت : على إبراهيم منوفى
٥٢٣ – الفن الطليطلى الإسلامى والمدجن	باسيليو بابون مالدونادو	ت : على إبراهيم منوفى
٥٢٤ – بانوراما الإعلام الإسرائيلى	دان كاسبر وبيهيل ليمور	ت : أحمد المغازى
٥٢٥ – موسم صيد فى بيروت وقصص أخرى	دنيس جونسون رزيفز	ت : نادية رفعت
٥٢٥ – علم السياسة البيئية	ستيفن كرول ووليم رانكين	ت : محيى الدين مزيد
٥٢٧ – كافكا	ديفيد زين ميروفتس وروبرت كرمب	ت : جمال الجزيرى
٥٢٨ – تروتسكى والماركسية	طارق على وفِلّ إيفانز	ت : جمال الجزيرى
٥٢٩ – بدائع العلامة إقبال فى شعره الأردى	محمد إقبال	ت : حازم محفوظ وحسين نجيب المصرى
٥٣٠ – مدخل عام إلى فهم النظريات التراثية	رينيه جينو	ت : عمر الفاروق عمر
٥٣١ – ما الذى حَدَثَ فى حَدَثِ ١١ سبتمبر؟	چاك دريدا	ت : صفاء فتحى
٥٣٢ – المغامرُ والمستشرق	هنرى لورنس	ت : بشير السباعى
٥٣٣ – تعلُّم اللغة الثانية	سوزان جاس	ت : محمد الشرقاوى
٥٣٤ – الإسلاميون الجزائريون	سيڤرين لابا	ت : حمادة إبراهيم
٥٣٥ – مخزن الأسرار	نظامى الكنجوى	ت : عبد العزيز بقوش
٥٣٦ – الثقافات وقيم التقدم	صمويل هنتنجتون	ت : شوقى جلال
٥٣٧ – للحب والحرية	نخبة	ت : عبد الغفار مكاوى
٥٣٨ – النفس والآخر فى قصص يوسف الشارونى	كيت دانيلر	ت : محمد الحديدى
٥٣٩ – خمس مسرحيات قصيرة	كاريل تشرشل	ت : محسن مصيلحى
٥٤٠ – توجهات بريطانية – شرقية	السير روبالد ستورس	ت : رؤوف عباس
٥٤١ – هى تتخيل وهلاوس أخرى	خوان خوسيه مياس	ت : مروة رزق
٥٤٢ – قصص مختارة من الأدب اليونانى الحديث	نخبة	ت : نعيم عطية
٥٤٣ – السياسة الأمريكية	باتريك بروجان وكريس جرات	ت : وفاء عبد القادر
٥٤٤ – ميلانى كلاين	نخبة	ت : حمدى الجابرى
٥٤٥ – ياله من سباق محموم	فرانسيس كريك	ت : عزت عامر

طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

رقم الإيداع ٣٠٥٥ / ٢٠٠٣

المجلس الأعلى للثقافة

يا له من
سباق محموم

وجهة نظر شخصية حول اكتشاف علمى

يعتبر اكتشاف فرانسيس كريك وجيمس واطسون لبنية المادة الوراثية (الدنا) من أعظم الإنجازات العلمية فى القرن العشرين، وفى هذا الكتاب يستعرض كريك الامتزاج الفريد من نوعه بين العمل العلمى الدءوب والصدفة، بين التفانى فى خدمة العلم واستخلاص خبرة العمل الجماعى للوصول إلى نتائج علمية حاسمة افتتحت عصر البيولوچيا الجزيئية. إنها قصة اكتشاف فتح الأبواب واسعة فى عدة مجالات مازالت تشهد كل يوم مزيداً من التطورات المدهشة مثل رصد خارطة الجينات البشرية، ومفاجآت الهندسة الوراثية، والعلاج الجينى. وكما يقول بعض العلماء: إذا كان القرن العشرين قرن الفيزياء فإن القرن الواحد والعشرين سيكون قرن البيولوچيا.